



电话/传真: +86 10 8532 6172
Email: china@cleanairasia.org
微博: @亚洲清洁空气中心
官网: www.cleanairasia.cn / www.cleanairasia.org
空气知库: <http://allaboutair.cn/index.html>
地址: 北京市朝阳区秀水街1号建国门外外交公寓3-41, 100600



十年清洁空气之路 中国与世界同行

CHINA'S 10-YEAR PATH TOWARD CLEANER AIR:
AN ASIAN PERSPECTIVE

2024

大气中国报告特别篇

CHINA AIR SPECIAL ISSUE

关于亚洲清洁空气中心

亚洲清洁空气中心（Clean Air Asia，简称 CAA）是一家国际非营利性环保公益组织，致力于改善亚洲区域空气质量，打造健康宜居的城市。

CAA 成立于 2001 年，总部位于菲律宾马尼拉，在中国北京和印度德里设有办公室。CAA 建立的亚洲国家网络覆盖六个国家，包括印度尼西亚、马来西亚、尼泊尔、菲律宾、斯里兰卡和越南。

CAA 自 2002 年起在中国开展工作，专注于空气质量管理、绿色交通和能源转型。2018 年 3 月 12 日，CAA 获得北京市公安局颁发的《境外非政府组织代表机构登记证书》，在北京设立亚洲清洁空气中心（菲律宾）北京代表处，在公安部及业务主管单位生态环境部的指导下开展工作。

报告团队

审稿人

付璐 北京代表处首席代表
万薇 中国区项目总监

撰稿人

张伟豪 空气质量项目主任
成慧慧 交通项目主任
王思 环境研究员
袁楠 高级环境研究员
王秋怡 原分析师
冉铮 交通研究员
王悦 高级交通研究员
夏冬飞 交通项目主管
邵雯 交通研究员

支持人员

刘明明 传播项目主任
朱妍 传播项目主管
梁缘 高级传播官员

致谢

亚洲清洁空气中心团队在《大气中国》系列报告的开发编制和发布过程中得到了中国工程院院士、清华大学环境学院贺克斌教授，北京大学环境科学与工程学院张世秋教授的大力帮助，悉心指导和宝贵建议，在此表示衷心感谢。报告团队亦感谢以下专家在本期报告审阅、数据解读和分析方面提供的帮助和指导。

丁焰 中国环境科学研究院 首席科学家
范永斌 中国水泥协会 副秘书长
伏晴艳 上海市环境科学研究院 副院长
黄成 上海市环境监测中心 副主任
江涵 全球能源互联网发展合作组织 研究员
雷宇 生态环境部环境规划院大气环境规划研究所 所长
李云婷 北京市生态环境监测中心大气室 主任
刘涛 冶金工业规划院环保中心 主任
同丹 清华大学地球系统科学系 副教授
王志轩 中国电力企业联合会专家委员会 副主任委员
吴烨 清华大学环境学院 教授
薛建明 国家能源集团科学技术研究院 教授级高工
薛涛 北京大学公共卫生学院 研究员
张少君 清华大学环境学院 副教授

(* 按姓名拼音排序)

目录

报告范围	1
报告要点	2
空气质量	10
空气污染物排放	22
温室气体排放	30
能源	38
交通运输	54
重点工业行业	82
参考文献	88

图表目录

图 1.1	2013–2023 年中国国内生产总值、能源消费量、民用汽车保有量与空气污染物浓度变化情况	11
图 1.2	2020 年各国 PM _{2.5} 暴露浓度与人均 GDP	12
图 1.3	2023 年主要城市 PM _{2.5} 浓度和 2020–2023 年间改善比例	13
图 1.4	1990–2020 年各国 PM _{2.5} 暴露浓度与排名	14
图 1.5	1990–2020 年各国臭氧季 O ₃ 暴露浓度与排名	16
图 1.6	各国环境空气质量标准包含的污染物指标	19
图 1.7	各国 PM _{2.5} 年均浓度标准限值和 2023 年监测浓度	20
图 1.8	各国 PM _{2.5} 24 小时浓度标准限值	21
图 1.9	各国 PM ₁₀ 年均浓度标准限值	21
图 1.10	各国 PM ₁₀ 24 小时浓度标准限值	21
图 1.11	各国 SO ₂ 24 小时浓度标准限值	21
图 1.12	各国 NO ₂ 年均浓度标准限值	21
图 1.13	各国 NO ₂ 24 小时浓度标准限值	21
图 1.14	各国 NO ₂ 小时浓度标准限值	21
图 1.15	各国 O ₃ 8 小时浓度标准限值	21
图 2.1	2011–2022 年中国工业增加值、能源消费量、民用汽车保有量与大气污染物排放量变化情况	23
图 2.2	2011–2022 年各国 SO ₂ 的单位 GDP 排放量变化趋势	24
图 2.3	2011–2022 年各国 NO _x 的单位 GDP 排放量变化趋势	25
图 2.4	2011–2022 年各国 SO ₂ 的单位 GDP 排放量与排名	26
图 2.5	2011–2022 年各国 NO _x 的单位 GDP 排放量与排名	28
图 3.1	2011–2022 年中国 CO ₂ 排放量、人均 CO ₂ 排放量与单位 GDP 排放量变化情况	31
图 3.2	1990–2022 年各国人均 CO ₂ 排放量与排名	32
图 3.3	1990–2022 年各国单位 GDP CO ₂ 排放量与排名	34
图 3.4	1990–2022 年各国 CO ₂ 分部门排放结构变化趋势	36
图 3.5	各国降碳目标	37

图 4.1	2010–2022 年中国一次能源消费量、单位 GDP 能耗、煤炭消费量占比变化趋势	39
图 4.2	1990–2022 年各国一次能源消费量变化趋势与排名	40
图 4.3	1990–2022 年各国人均能源消费量变化趋势与排名	42
图 4.4	1990–2022 年各国单位 GDP 能耗变化趋势与排名	44
图 4.5	1990–2022 年各国能源生产结构变化趋势	46
图 4.6	1990–2022 年各国能源消费结构变化趋势	47
图 4.7	1990–2022 年各国电力装机结构变化趋势	48
图 4.8	各国电力行业火电厂现行大气污染物排放限值	49
图 4.9	中国燃煤电厂大气污染物排放限值升级加严历程	49
图 4.10	1990–2022 年各国可再生能源装机容量变化趋势与排名	50
图 4.11	1990–2022 年各国可再生能源发电量变化趋势与排名	52
图 5.1	2010–2022 年中国机动车保有量、大气污染物与温室气体排放量变化情况	55
图 5.2	2013–2023 年各国汽车销量与排名	56
图 5.3	2013–2023 年各国汽车保有量与排名	58
图 5.4	各国千人汽车保有量	60
图 5.5	2010–2023 年主要国家新能源乘用车销量与排名	62
图 5.6	2023 年全球新能源乘用车销量及区域分布	62
图 5.7	2023 年全球新能源乘用车销量渗透率以及变化情况	64
图 5.8	部分国家新能源汽车推广目标	65
图 5.9	中、欧、美轻型车排放限值演变历程（以汽油乘用车为例）	66
图 5.10	中、欧、美、日轻型车排放标准升级时间轴（以汽油乘用车为例）	66
图 5.11	部分国家 / 地区轻型车现行排放限值（以汽油乘用车为例）	68
图 5.12	亚洲国家参考的排放法规体系及现行排放阶段（以汽油乘用车为例）	69
图 5.13	中、欧、美重型车排放限值演变历程（以重型柴油车为例）	70
图 5.14	中、欧、美、日重型车排放标准升级时间轴（以重型柴油车为例）	70
图 5.15	部分国家 / 地区重型车现行排放限值（以重型柴油车稳态工况法限值为例）	72
图 5.16	亚洲国家参考的排放法规体系及现行排放阶段（以重型柴油车为例）	73
图 5.17	各国现行车用汽油和车用柴油硫含量	74
图 5.18	中、日、美、欧车用燃油硫含量限值加严历程	75
图 5.19	船舶排放控制区示意图	76
图 5.20	远洋船舶燃油硫含量升级历程	78
图 5.21	IMO 远洋船舶氮氧化物排放控制历程	80
图 5.22	IMO 远洋船舶氮氧化物排放限值	80
图 5.23	中、欧、美的国内航行船舶发动机大气污染物排放限值	81
图 6.1	2010–2020 年中国粗钢产量和钢铁行业大气污染物排放量	83
图 6.2	2010–2020 年中国水泥产量和水泥行业大气污染物排放量	83
图 6.3	1990–2022 年各国产业结构变化趋势	84
图 6.4	各国钢铁行业现行大气污染物排放限值	86
图 6.5	中国钢铁行业大气污染物排放限值升级历程	86
图 6.6	各国水泥行业现行大气污染物排放限值	87
图 6.7	中国水泥行业大气污染物排放限值升级历程	87



报告范围

本报告是《大气中国》系列报告的特别篇，通过指标图集的方式呈现了中国过去（特别是 2013 年启动“大气十条”后的关键十年）在清洁空气与气候变化减缓领域的进展和历程，并通过与东亚、南亚、东南亚国家、以及欧美典型国家的对比分析，提供互鉴，并识别未来的改进方向。

报告团队希望此系列报告发挥桥梁作用，促进亚洲国家和城市之间先进管理经验和最佳实践的交流与应用，帮助面临严峻挑战的国家和城市找到适合各自国情的减排和发展路径。

本期报告是 2022 年发布的《十年清洁空气之路，中国与世界同行》的更新版本，包含主报告与三份专题子报告。主报告覆盖了六组指标，涉及空气质量、空气污染物排放、温室气体排放、能源、交通运输和重点工业行业。三份专题子报告分别为：（1）亚洲主要城市 PM_{2.5} 贡献来源；（2）亚洲主要国家和城市空气质量监测网络；（3）亚洲国家经济发展与空气质量。

报告覆盖国家范围如下表：

地区	国家
东亚	中国
	日本
	韩国
	蒙古
南亚	印度
	巴基斯坦
	孟加拉国
	斯里兰卡
	尼泊尔
东南亚	新加坡
	菲律宾
	马来西亚
	泰国
	越南
	印度尼西亚
	柬埔寨
北美洲	缅甸
	美国
欧洲	英国
	德国

报告中进行国家之间比较时，仅在上述国家范围内比较，除非另做说明。

报告要点

亚洲地理面积约占全球 30%，居住着世界上 60% 多的人口，是过去 20 年世界经济增长的重要引擎。但很多亚洲发展中国家仍处于快速城市化、工业化和机动化的进程之中，同时面临着空气污染控制和温室气体减排的巨大挑战。

中国是亚洲最大经济体，持续改善空气质量和减少温室气体排放不仅可以惠及本国，对于亚洲乃至全球都意义重大。过去十余年，中国的经济发展模式逐步从粗放式增长转向高质量的绿色发展，在大气污染防治和气候变化应对方面取得了积极的进展。一方面，中国成为世界上空气质量改善最快的国家，且持续保持打好蓝天保卫战的决心和行动力；另一方面，继续强化积极应对气候变化的举措，协同推进“降碳、减污、扩绿、增长”，为空气质量进一步改善提供持续动能。

基于空气质量、空气污染物排放、温室气体排放、能源、交通运输和重点工业行业等关键指标的更新和专题报告分析，本期报告主要发现如下：

- ▶ 经济增长与空气质量，从“取舍”到“双赢”
- ▶ 移动源是大部分城市 PM_{2.5} 的主要来源，部分城市燃煤污染贡献得到有效遏制
- ▶ 亚洲各国监测能力差距较大，中国空气质量监测网络发展迅速
- ▶ 标准引领空气质量改善，“提标”与“全面达标”进入新议程
- ▶ 当前传统化石能源仍占主导地位，发展可再生能源是大势所趋
- ▶ 部分亚洲国家机动车排放标准跨越式升级，油品质量实现同步进阶
- ▶ 全球新能源汽车增长势头强劲，量化推广目标促进亚洲多国需求侧破冰

经济增长与空气质量，
从“取舍”到“双赢”

2023 年，东亚、南亚、东南亚国家的国内生产总值 (GDP) 总量约占全球 GDP 的 32%，是全球最具经济增长活力的地区。尽管亚洲经济体受新冠疫情影响增速放缓，但已呈现恢复态势。处在经济高速发展阶段的亚洲发展中国家，普遍表现出第二产业增加值占比和能源强度偏高的特点，其在产业结构和能源消费等方面的变化，是驱动空气污染物以及温室气体排放水平变化的重要因素。

诸多东南亚国家的第二产业的快速增长伴随着能源消费和排放强度的增长，呈现出粗放式经济增长的特征。缅甸、柬埔寨、越南、印度尼西亚等东南亚国家第二产业占比和能源强度均在稳步举升。例如，2013-2022 年，缅甸的单位 GDP CO₂ 排放增长了一倍，单位 GDP SO₂ 排放则增长了两倍左右，越南的煤炭消费在能源消费中的占比增长了近 60%；2020 年后，印度尼西亚的第二产业占比、能源强度和 SO₂ 排放强度均出现了较大升幅。这些变化给当地的空气污染治理和气候变化应对带来不小压力。印度尼西亚首都雅加达 PM_{2.5} 年均浓度水平自 2017 年起快速上升，至 2019 年上升幅度超过 60%；越南首都河内 2022 年 PM_{2.5} 年均浓度超过 40 μg/m³。

处于绿色发展转型中的中国则在经历了其它国家类似情况后，呈现出新的趋势。2013-2022 年的十年间，通过推动产业转型升级、能源结构优化等努力，中国在经济稳步增长的同时，第二产业增加值在总增加值中的占比由 43.9% 降至 39.9%，单位 GDP 能耗降幅达到 26%，单位 GDP SO₂、NO_x 及 CO₂ 排放量分别下降约 93%、76% 和 31%。整体空气质量也显著改善，74 个重点城市的 PM_{2.5} 年均浓度整体下降约 56%，首都北京 PM_{2.5} 年均浓度从 89.5 μg/m³ 降至 30 μg/m³。在本报告关注的 28 个亚洲超大城市中，近年来 PM_{2.5} 三年滑动平均浓度改善的 14 个城市中，有六个是中国城市。

报告关注的各国经济指标 (人均 GDP) 与环境指标 (PM_{2.5} 暴露浓度) 之间的关系也呈现出环境库茨涅茨“倒 U 型”曲线假说的规律。经济发展进入“高阶”水平的国家环境质量较好，反之，收入水平较低的发展中国家环境质量较差。中国人均 GDP 突破了一万美元大关，实现了“拐点”跨越，表明经济发展与环境质量改善从“取舍”关系变为“双赢”状态。而南亚部分国家，仍然面临经济发展与空气污染的双重挑战。印度、尼泊尔、孟加拉国与巴基斯坦的 PM_{2.5} 暴露浓度接近全球平均水平的两倍，而人均 GDP 处于全球下游水平。空气污染也给当地带来了沉重的经济负担，世界银行的最新研究显示，上述南亚国家 PM_{2.5} 暴露导致的健康损害货币化成本接近甚至超过本国 GDP 的 10%。

移动源是大部分城市 PM_{2.5} 的主要来源
部分城市燃煤污染贡献得到有效遏制

移动源对亚洲主要城市 PM_{2.5} 的贡献比例范围为 8%(河内)-52%(深圳), 平均贡献比例为 28.4%, 是大多数城市 PM_{2.5} 的主要贡献源。在亚洲主要城市 PM_{2.5} 贡献来源专题报告 17 个研究对象城市 (均为首都城市或超大城市) 中, 15 个城市的移动源贡献比例高达 20% 及以上。其中北京、上海、成都、南京、广州、深圳、德里、雅加达这些大型城市的移动源对 PM_{2.5} 的贡献比例都高居首位, 贡献比例范围为 27.4%(南京)-52%(深圳); 在武汉、西安、香港、首尔、马尼拉、吉坡和乌兰巴托, 移动源贡献也十分突出, 比例范围高达 20%(马尼拉)-30.7%(乌兰巴托), 是 PM_{2.5} 的次要贡献源。

从时间序列上看, 部分超大城市中移动源对 PM_{2.5} 污染的贡献比例在不断提升, 包括德里、广州、北京。其中北京的交通源贡献逐渐凸显, 从 2013 年的 31% 上升到 2020 年的 46%; 广州的交通源贡献从 2018 年的 25.5% 升至 2021 年的 29.8%; 德里的交通源贡献则从 2013-2016 年的 16% 升至 2016-2017 年的 34.6%。

此外, 在上海、深圳、香港三座港口城市的源解析研究中都发现, 移动源中船舶的排放不容忽视, 例如, 2020 年船舶排放对上海市 PM_{2.5} 的贡献为 3.2%; 2014 年远洋船舶对深圳市 PM_{2.5} 的贡献为 5.3%; 2015 年船舶排放对香港 PM_{2.5} 的贡献为 12%。这是因为远洋船舶通常使用硫含量较高的柴油作为燃料, 大气污染物排放水平较高。

中国近年来开展的大气污染防治政策对典型城市不同排放源 PM_{2.5} 浓度贡献比例产生了显著影响。根据北京市生态环境局在过去十年发布的三次 PM_{2.5} 源解析结果发现, 在所有排放源中, 贡献比例降幅最显著的是燃煤源, 从 2013 年的 22% 降到了 2020 年的 3%。这是由于在过去十年间, 北京市积极推进能源结构清洁化, 累计完成 4 万蒸吨燃煤锅炉清洁能源改造、130 余万户居民“煤改清洁能源”, 淘汰燃煤机组 272.5 万千瓦。北京市煤炭消费量由 2012 年的 2179.6 万吨下降到 2022 年的 100 万吨以下, 从根本上遏制了燃煤产生的大气污染。广州市燃煤源的贡献比例出现了类似的下降趋势, 从 2018 年的 22.2% 下降到 2021 年的 12.9%, 这也是由于不断压减煤炭消费总量和加强末端治理措施带来的积极变化, 包括大幅降低煤电装机比重、燃煤电厂超低排放改造、燃煤锅炉替代与升级等。

亚洲各国监测能力差距较大
中国空气质量监测网络发展迅速

为应对空气污染问题, 约 60% 的亚太地区国家政府开展了官方的常态化空气质量监测, 监测污染物涵盖 PM_{2.5}、PM₁₀、O₃、NO₂、SO₂、CO 等常规空气污染物。但空气质量监测网络的基础建设和技术能力在不同亚洲国家之间存在较大差异, 中低收入国家的监测网络密度和技术能力相对薄弱。因为充足和可持续的资金投入是维持空气质量监测系统运转的最重要因素, 而这项投入与国家的收入水平以及重视程度有直接关系。从国家网络站点总数量来看, 中国、日本的站点数量较多, 分别在 1700 和 1400 个以上; 其次是印度和韩国, 站点数量介于 500 至 1000 之间; 在东南亚, 菲律宾和泰国站点数量较多, 在 100 左右。从人均拥有的监测站点数量来看, 东亚国家也要多于东南亚和南亚国家。

《亚洲主要国家和城市空气质量监测网络》专题报告考察了 23 个亚洲主要城市官方公开的现有监测站点数量, 并与欧盟推荐的监测站点数量进行对比, 结果显示大部分城市拥有的站点数量达到或超过了欧盟推荐的站点数量, 但南亚城市如卡拉奇、达卡、科伦坡、加德满都的监测站数量不足现象较为严重。以达卡为例, 作为孟加拉国第一大城市仅有 3 个监测站点。南亚地区作为亚洲空气污染最严重的次区域, 亟需加强空气质量监测网络的建设。

为支持 2012 年修订的环境空气质量标准 (GB 3095-2012) 的实施, 中国加速建设环境空气质量监测网络并大幅加强了空气质量数据的信息公开以及管理应用, 对于公众认知与防护意识的提升、管理部门治理力度和精准度的加强、治理效果的科学评估都发挥了十分积极的作用。仅用了三年时间, 中国就建成了要盖全部 338 个地级及以上城市的 1436 个国控监测站点, 对六项标准污染物进行连续在线监测并发布近实时数据。在建设过程中, 中央政府共投资约 11.3 亿元, 地方政府提供配套资金约 6.9 亿元。进入“十四五”后, 中国于 2021 年扩建了监测网络, 将国控站点数量增加至 1734 个。除国控监测站点外, 地方政府也在持续推进空气质量监测工作, 共设立包括小微站和标准站在内的监测站点一万余个, 形成了国家 - 省 - 市三级环境空气质量监测网络。

标准引领空气质量改善
“提标”与“全面达标”进入新议程

2021 年，世界卫生组织 (WHO) 发布了新版《全球空气质量指导值》，将 $\text{PM}_{2.5}$ 年均浓度指导标值由 $10\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ 下调到 $5\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，在多个国家引发了关于修订空气质量标准，进一步保护公众健康的讨论和政策动议。美国和欧盟相继提出加严 $\text{PM}_{2.5}$ 的空气质量标准限值，使其接近 WHO 第四阶段 (IT-4) 过渡目标值。2024 年 2 月，美国将 $\text{PM}_{2.5}$ 的年均浓度限值由 $12\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ 加严到 $9\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。欧盟也于 10 月份通过了更新空气质量标准的提案，其中 $\text{PM}_{2.5}$ 的年均浓度限值由 $25\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ 加严到 $10\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

亚洲国家在设置空气质量标准时，大部分参考了 WHO 第二、第三阶段 (IT-2、IT-3) 过渡目标值。其中，蒙古、斯里兰卡、菲律宾、泰国、越南、柬埔寨的 $\text{PM}_{2.5}$ 年均浓度标准限值为 $25\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ (IT-2)，日本、韩国、巴基斯坦、孟加拉国、马来西亚、印度尼西亚为 $15\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ (IT-3)。尽管巴基斯坦、孟加拉国、缅甸等国家设置了相对严格的限值 (IT-3、IT-4)，但基于监测的 $\text{PM}_{2.5}$ 年均浓度却超标严重。2023 年，巴基斯坦的 $\text{PM}_{2.5}$ 年均浓度为 $74\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，是其空气质量标准 (IT-3) 的近 5 倍。当前，有近一半亚洲国家的空气质量不能达到当地标准。

中国现行的环境空气质量标准中 $\text{PM}_{2.5}$ 的年均浓度限值参考了 WHO 最为宽松的过渡阶段目标 (IT-1)，对比绝大部分亚洲国家，这一标准限值不算严格，但注重达标的可行性，更加务实。在过去十年，中国标准对于空气质量改善起到了关键的引领作用。当前全国开展 $\text{PM}_{2.5}$ 监测的城市年均浓度平均值已经低于标准限值 $35\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。2022 年，全国 339 个地级及以上城市中，6 项污染物年均浓度均达标的城市有 213 个，占六成以上，而 2015 年达标城市占比仅有两成，可以说实现达标的成效十分突出。

中国在 2023 年 11 月发布的《空气质量持续改善行动计划》中，明确提出了启动环境空气质量标准及相关技术规范修订研究工作。随后，又在“美丽中国”的目标中提出，到 2027 年全国各地级及以上城市力争全面实现 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度达标。这也是中央政府首次明确全国城市达标的时点，体现了大气污染防治方向不变、力度不减。

当前传统化石能源仍占主导地位
发展可再生能源是大势所趋

多数亚洲发展中国家普遍依赖化石能源，中国、蒙古、印度、越南的煤炭消费比重超过一半，而东南亚国家对石油的依赖明显，其中新加坡的石油消费占比高达 85%。值得注意的是，印度尼西亚和菲律宾的煤炭消费比重在近年来呈明显上升趋势，1990-2022 年，其煤炭消费比重均从不到一成上升至四成以上。印度尼西亚在过去的 30 余年中也逐渐发展成了煤炭生产占主导的产能格局，自 2019 年起煤炭生产占能源生产的比例高达七成以上，成为了亚太地区的主要煤炭供应国。

自 2010 年起，亚洲区域的能源结构开始发生变化，尽管可再生能源消费占比相对欧洲发达国家仍然不高，但是大部分亚洲国家的可再生能源装机容量都呈现数倍的增长。一些长期依赖化石能源的国家，如蒙古、印度、日本、韩国等在 2015 年后可再生能源装机容量占比持续增加。亚洲国家的可再生能源发电量在近十年间也呈现出快速增长的特点，其中柬埔寨增长超过 8 倍，蒙古增长超过 14 倍。2022 年，多数亚洲国家的可再生能源发电量占比在 20% 左右。

中国因“富煤、缺油、少气”的化石能源资源禀赋特点，煤炭在能源生产结构中始终占据主体地位。但近十年来，煤炭消费比重呈现出缓慢的下降趋势，2022 年煤炭消费比重比 2010 年下降了 13 个百分点，这得益于中国持续努力推进产业结构与能源结构的清洁转型。中国的化石燃料装机容量占比呈稳步下降趋势，同时非水可再生能源的装机容量占比呈上升趋势。截至 2022 年底的可再生能源累计装机容量已是 1990 年的 32 倍。在风电、光伏等非水可再生能源的带动下，中国可再生能源装机量已接近全国发电装机总容量的一半。

伴随着可再生能源装机量的高速增长，中国的可再生能源发电量也呈现相同的趋势，于 2005 年超过美国并长期稳居全球第一，2022 年的可再生能源发电量是 1990 年的近 22 倍，在全国发电总量中的比例已接近三分之一。

部分亚洲国家机动车排放标准跨越式升级 油品质量实现同步进阶

在机动车排放法规体系方面，欧盟、美国和日本在全球范围内率先开启排放控制进程，并且形成了各自不同的三大法规体系。当前，欧美仍在加强和引领机动车的排放管控，不仅继续加严污染物排放限值，同时新增部分污染物排放限值，强化温室气体排放管控。以重型车为例，欧盟预计 2027 年正式实施欧 7 标准， NO_x 和 PM 实验室排放限值较欧六标准分别加严 50% 和 20%，新增了 NH_3 和 N_2O 的排放限值；美国清洁卡车计划对于 2027 年车型的排放限值也更为严格， NO_x 和 PM 排放限值较联邦法规最新标准的限值分别加严近 83% 和 33%。

大多数亚洲国家主要借鉴和参考欧盟法规体系，但各国在排放标准的实施阶段和具体时间存在较大差异。中国、韩国、日本、印度和新加坡的机动车排放标准的实施进程更为领先，已经实施欧六（或等效欧六，下同）或更严的标准；其他大部分亚洲国家实施了欧四标准，孟加拉国、尼泊尔仍实施欧二、欧三标准。可喜的是，借助全球先进国家排放标准实施经验，近些年一些亚洲国家机动车排放法规都实现了跨越式升级。在轻型车排放标准方面，印度从欧四跨越到欧六，尼泊尔从欧一跨越到欧三、印度尼西亚从欧二跨越到欧四；在重型车排放标准方面，印度从欧四跨越到欧六，泰国从欧三跨越到欧五。与此同时，大部分亚洲国家的油品质量标准也实现了同步加严，目前亚洲国家燃油标准均已达到欧四及以上标准，基本与本国机动车排放阶段配套衔接。

中国在机动车排放控制上虽起步稍晚，但升级迭代速度快，当前排放控制水平已与全球领先水平接轨，并且结合本国情况形成自主的标准体系。2023 年 7 月 1 日，轻型车国六排放标准 6b 阶段（后简称“国六 b”）正式实施。国六 b 较 2000 年实施的国一阶段相比，CO 限值加严 82%， $\text{HC}+\text{NO}_x$ 限值加严 91%。中国的国六标准在新车污染物排放限值、蒸发排放控制上较欧六更为严格，轻型车排放要求处于全球最严行列。过去十年，中国重型车排放标准经历了三次升级，现行的国六标准 NO_x 和 PM 限值较国五加严幅度达到 80% 和 50%。在技术标准和合规监管上均大幅加严，并且创新性的提出了远程排放监控的要求。中国燃油低硫化进程同样迅速，在 2017 年柴油和汽油硫含量限值均降低到 10ppm，达到全球领先水平。

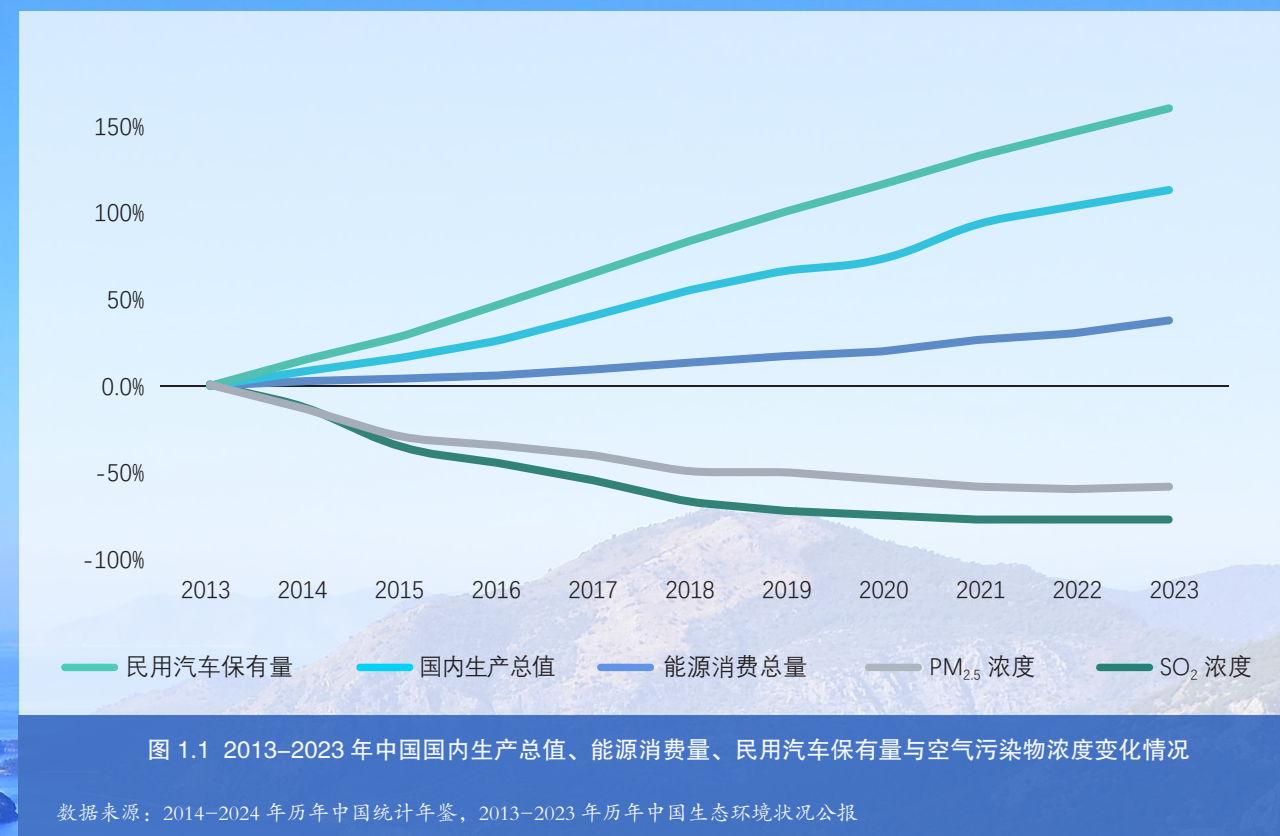
全球新能源汽车增长势头强劲 量化推广目标促进亚洲多国需求侧破冰

在过去十年中，尽管全球乘用车市场经历了诸多波动，新能源乘用车却展现出强劲的增长势头。2013 至 2023 年间，全球新能源乘用车以 52.6% 的年均增长率，实现了持续快速增长，新能源车销量渗透率已达到 18%。然而，各国在新能源乘用车推广进度上差异较大，2023 年各国销量渗透率范围在 0.3%-93.0% 不等，主要推广阵地集中在中国、欧洲和北美。

2023 年，中国新车销量突破 3000 万辆，保有量突破 3.3 亿辆，销量和保有量连续多年稳居全球首位。同期，中国的千人汽车保有量持续提升，2022 年达到 225 辆/千人，这一数字仍低于部分欧美发达国家 600 辆/千人以上的水平，也一定程度上反映出中国汽车市场仍存较大增长潜力。为了满足市场需求的同时推进交通绿色低碳转型，中国过去几年积极推动新能源汽车发展。2013-2023 年间，中国新能源乘用车销量的年均增长率达到 86.7%，高于全球整体增速，销量渗透率从 2021 年的 16% 提升到 2023 年的 38%。至 2023 年，中国在全球新能源乘用车市场中的份额高达 60%，连续 9 年位居全球销量第一。为持续推动汽车低碳转型，中国组织启动了公共领域车辆全面电动化先行区试点工作，首批 15 个城市探索先行，要求试点城市新增及更新的公共领域车辆中新能源汽车比例 2025 年力争达到 80%。

其他多数亚洲国家的新能源汽车推广尚处于起步阶段。2021-2023 年期间，印度、越南、马来西亚、印度尼西亚等国家的新能源乘用车市场开始起步，实现了需求侧的破冰。部分亚洲国家相继提出了中长期的新能源汽车发展目标，从新能源汽车的销量、保有量或产量角度提出量化推广目标，例如，新加坡提出 2030 年新能源汽车销量占比实现 100%、2040 年保有量占比实现 100% 的雄伟目标；泰国提出 2030 年新能源乘用车产量占比达到 30% 的目标。在交通绿色低碳化的大趋势下，亚洲国家的汽车能源转型未来发展前景广阔。

空气质量



为了保护公众健康，中国向空气污染宣战。自 2013 年《大气污染防治行动计划》实施以来，中国在国民经济和工业化、城镇化保持快速发展的情况下，实现了整体空气质量的显著改善。

2013–2023 年，中国整体 PM_{2.5} 年均浓度下降约 58%，SO₂ 年均浓度下降约 78%，中国已成为世界上空气质量改善最快的国家，同时国内生产总值（GDP）从 59.3 万亿元增长到 126 万亿元，年均增长 6% 以上；能源消费量和民用汽车保有量分别上升了 37.2% 和 159.8%。

2023 年底，为统筹兼顾空气质量改善与经济高质量发展，中国发布《空气质量持续改善行动计划》，明确了下一阶段大气污染治理的工作重点和行动举措，提出“到 2025 年实现全国地级及以上城市 PM_{2.5} 浓度比 2020 年下降 10%，重污染天数比率控制在 1% 以内”的目标，显示出中国持续打好蓝天保卫战的决心。

亚洲与欧美各国人均 GDP 与 PM_{2.5} 暴露浓度之间的关系符合环境库茨涅茨“倒 U 型”曲线假说的规律。经济发展进入“高阶”水平的国家环境质量较好，反之，收入水平较低的发展中国家环境质量较差。

过去十年间，中国人均 GDP 突破了一万美元大关，实现“拐点”跨越，进入经济发展与环境质量改善“双赢”的状态。而南亚部分国家，仍然面临经济发展与空气污染的双重挑战，包括印度、尼泊尔、孟加拉与巴基斯坦。

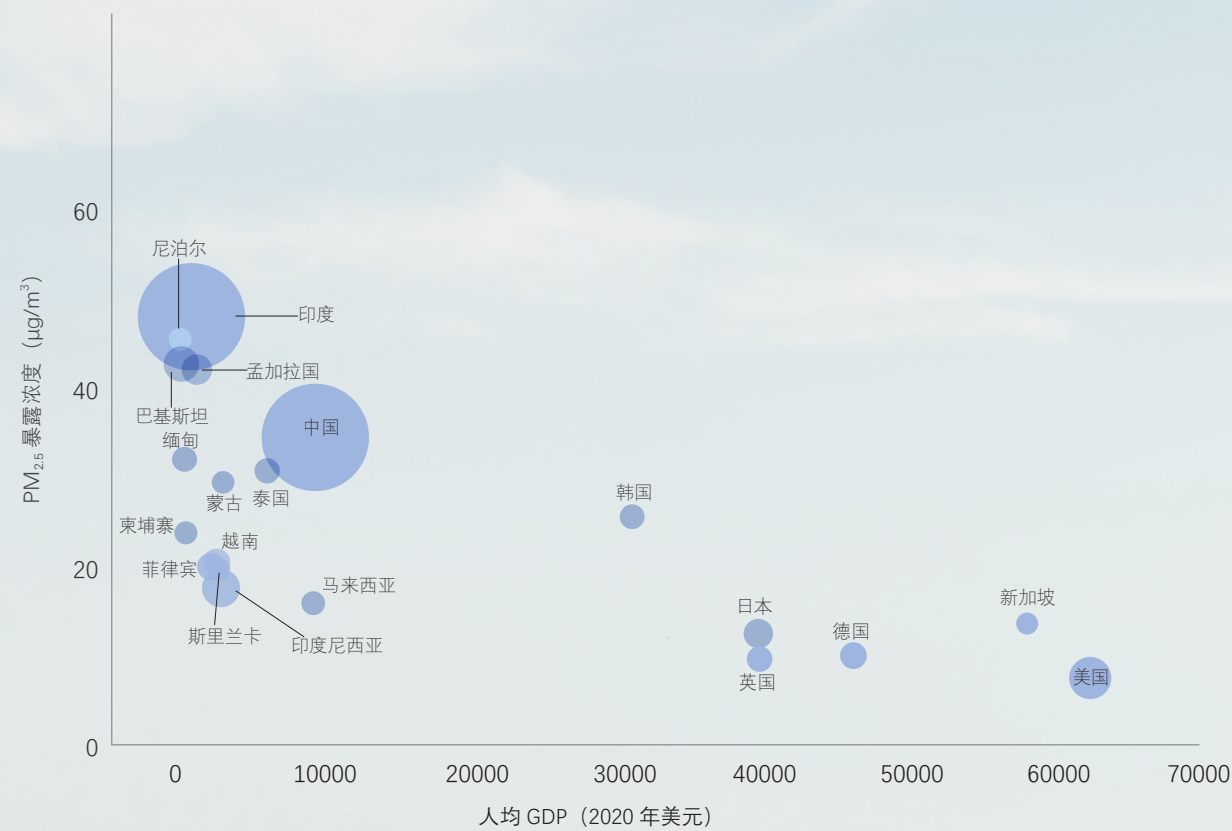


图 1.2 2020 年各国 PM_{2.5} 暴露浓度与人均 GDP

注：人均 GDP 使用 2020 年美元价衡量，气泡大小代表各国人口数量。

数据来源：Global Burden of Disease Study 2019, IHME, 2020, World Development Indicators 数据库, UN National Accounts 数据库。

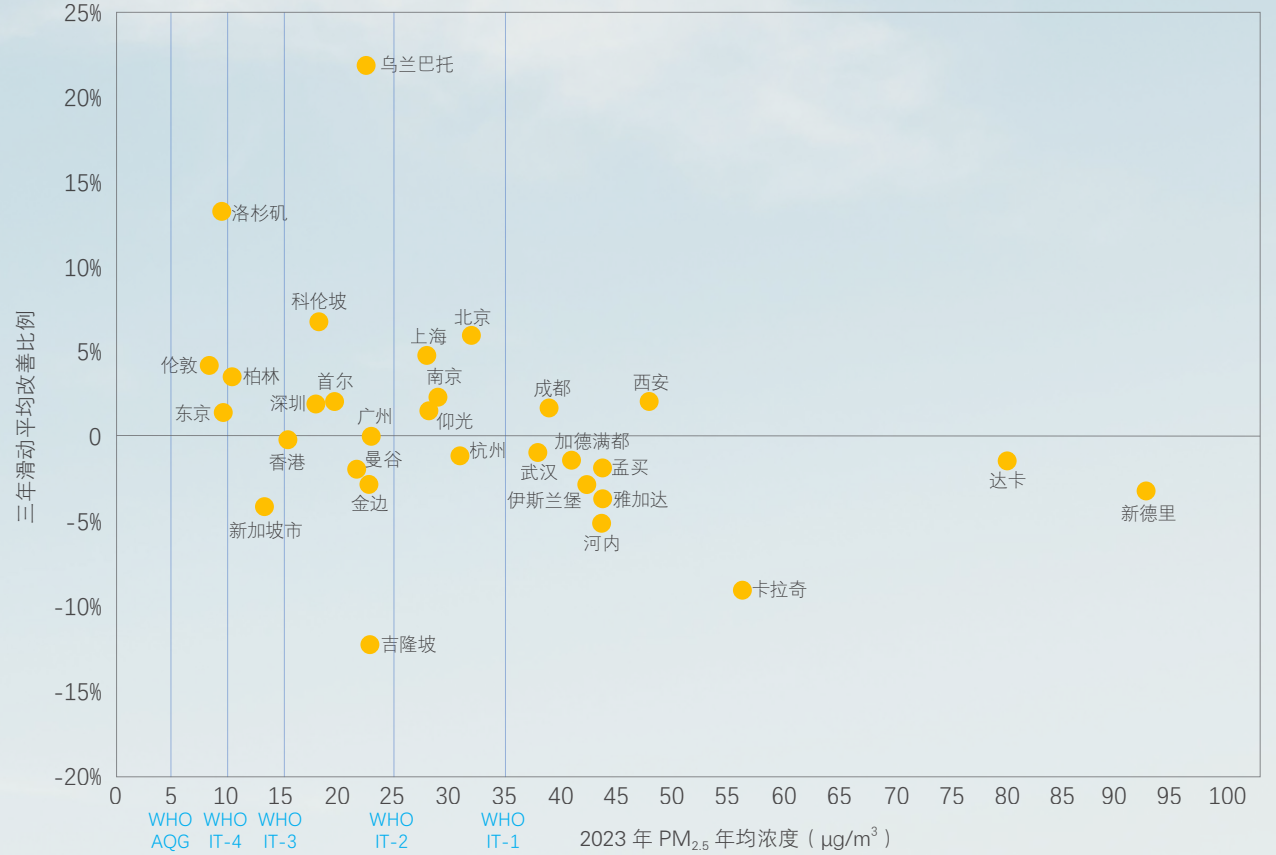


图 1.3 2023 年主要城市 PM_{2.5} 浓度和 2020-2023 年间改善比例

注：本图中改善比例采用三年滑动平均值改善比例，即 2021–2023 三年浓度均值相比 2020–2022 三年浓度均值的改善比例

数据来源：IQAir 历史空气质量数据库

当前，各国超大城市中，东亚国家特别是中国的城市表现突出。2020-2023 年，PM_{2.5} 浓度的三年滑动平均值改善的 14 个城市中有 9 个位于东亚地区，其中 6 个是中国城市。

印度首都新德里、孟加拉国首都达卡的 PM_{2.5} 浓度远高于其它超大城市，且持续恶化。巴基斯坦城市卡拉奇和首都伊斯兰堡的 PM_{2.5} 浓度也较高且在恶化。马来西亚首都吉隆坡浓度升幅最高，达 12.1%。

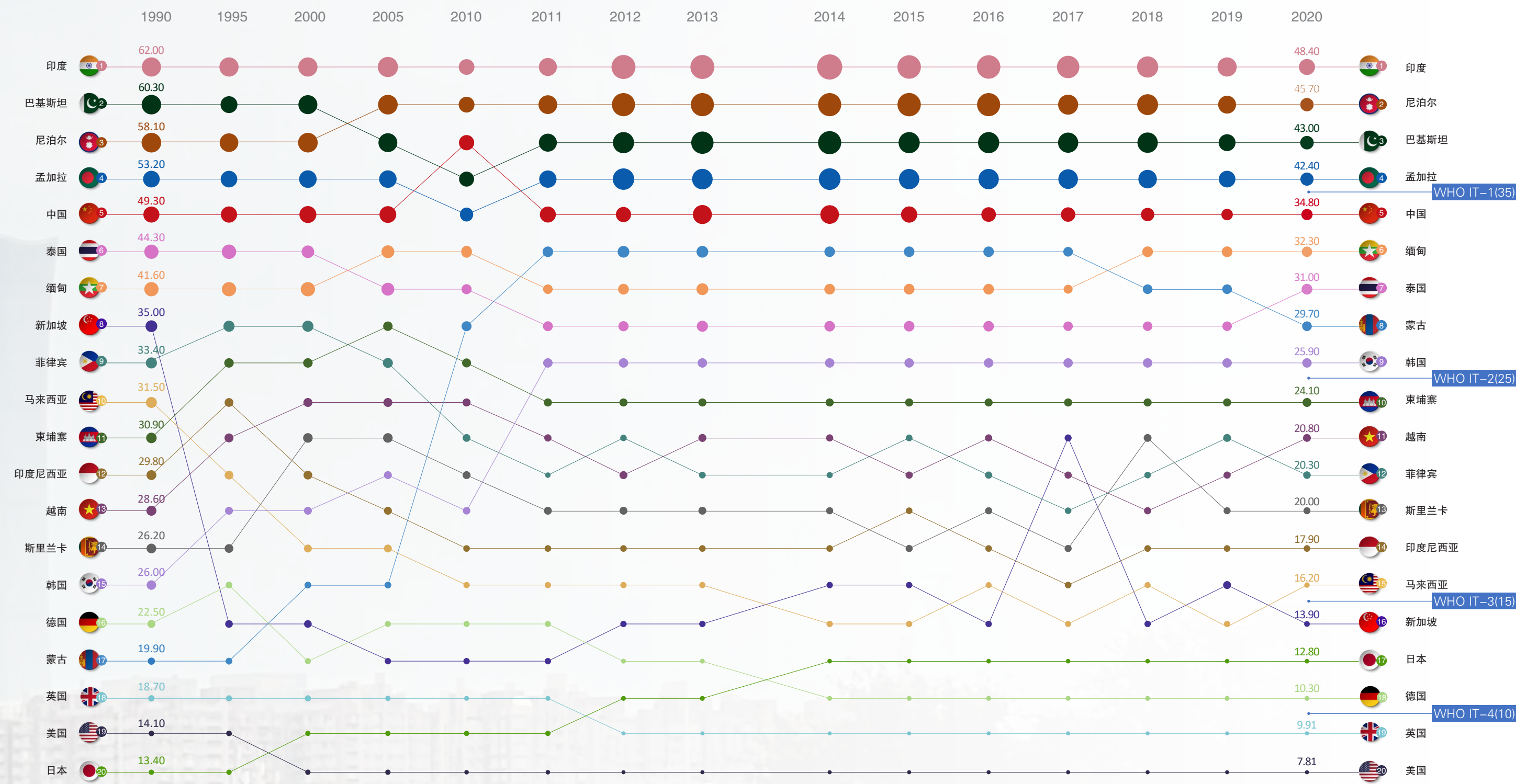


图 1.4 1990-2020 年各国 PM_{2.5} 暴露浓度与排名

注：图中浓度采用经人口加权的平均浓度（单位： $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）
数据来源：Global Burden of Disease Study 2019. IHME, 2020.

自 2013 年以来，中国的 PM_{2.5} 暴露浓度显著下降，已经实现了 WHO 第一阶段过渡目标，但仍有较大改善空间。

2020 年，大部分国家的 PM_{2.5} 暴露浓度均同比下降，但南亚四国印度、尼泊尔、巴基斯坦、孟加拉的浓度仍处于较高水平，尚未达到 WHO 第一阶段过渡目标。

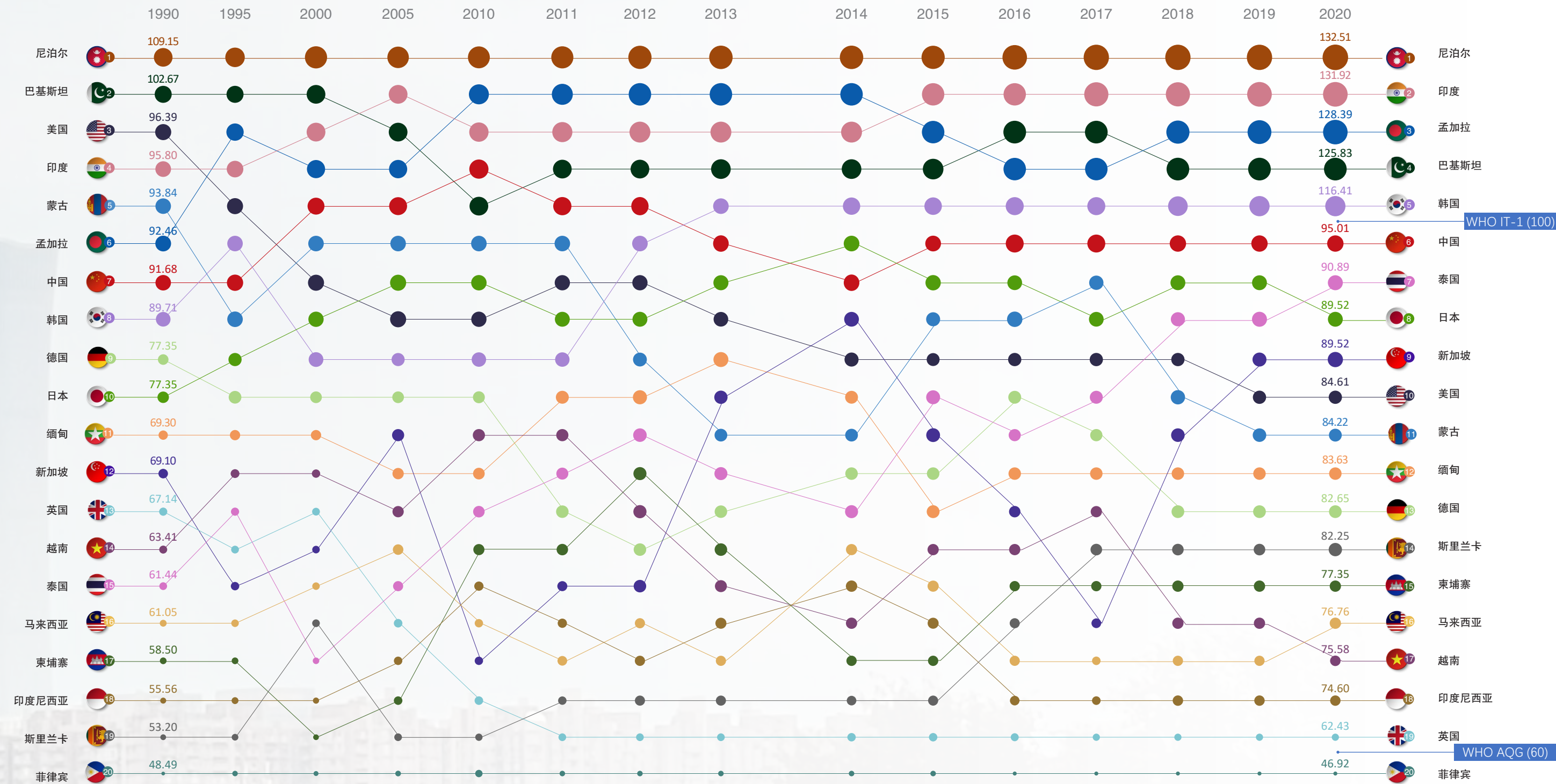


图 1.5 1990-2020 年各国臭氧季 O₃ 暴露浓度与排名

注：臭氧季是每年中 O₃ 浓度最高的连续六个月，图中浓度采用经人口加权的平均浓度（单位：µg/m³）
数据来源：Global Burden of Disease Study 2019. IHME, 2020.

PM_{2.5} 浓度较高的国家同时也面临 O₃ 污染问题，南亚四国的 O₃ 浓度明显高于其他亚洲国家。韩国的 O₃ 浓度在近十年来持续上升，距离 WHO 臭氧季浓度第一阶段过渡目标（WHO IT-1, 100µg/m³）渐行渐远，

浓度水平逐步接近南亚四国。其他亚洲国家则均实现了 WHO IT-1。

值得注意的是，过去十年间，臭氧季 O₃ 浓度水平上升是大多数国家的普遍趋势，恶化较为显著的是斯里兰卡、新加坡、韩国，增幅均超过 30%。明显改善的国家仅有中国、蒙古、菲律宾，浓度降幅超过 10%。



	PM _{2.5}	PM ₁₀	SO ₂	NO ₂	CO	O ₃	Pb	TSP	B[a]P	NOx	NH ₃	C ₆ H ₆	As	Ni	Cd	C ₂ HCl ₃	C ₂ Cl ₄	CH ₂ Cl ₂	C ₂ H ₃ Cl	CHCl ₃	1,2-二氯丙烷	PAH	1,3-丁二烯	1,2-二氯乙烷	CS ₂	NMHC
中国	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
日本	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	✓	×	×	×	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	×	×	×
韩国	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
蒙古	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
印度	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	✓	×	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
巴基斯坦	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
孟加拉国	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓	×	×	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
斯里兰卡	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
尼泊尔	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
新加坡	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
菲律宾	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
马来西亚	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
泰国	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	✓	×	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓	×
越南	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
印度尼西亚	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	✓
柬埔寨	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
缅甸	✓	✓	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
美国	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
英国	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	✓	✓	×	×	×
德国	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	✓	×	×	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
欧盟	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	✓	×	×	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

图 1.6 各国环境空气质量标准包含的污染物指标

注：✓代表设有该指标，× 代表不设该指标。
数据来源： 各国官方发布的环境空气质量标准，详见报告中参考文献

为了改善空气质量，保护公众健康，多数亚洲国家参考 WHO 的 AQGs 设置了国家标准，包括选取 PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂、CO、O₃、Pb 等主要空气污染物，并参考 WHO 的过渡目标值设置 PM_{2.5}、O₃等主要污染物的标准限值。

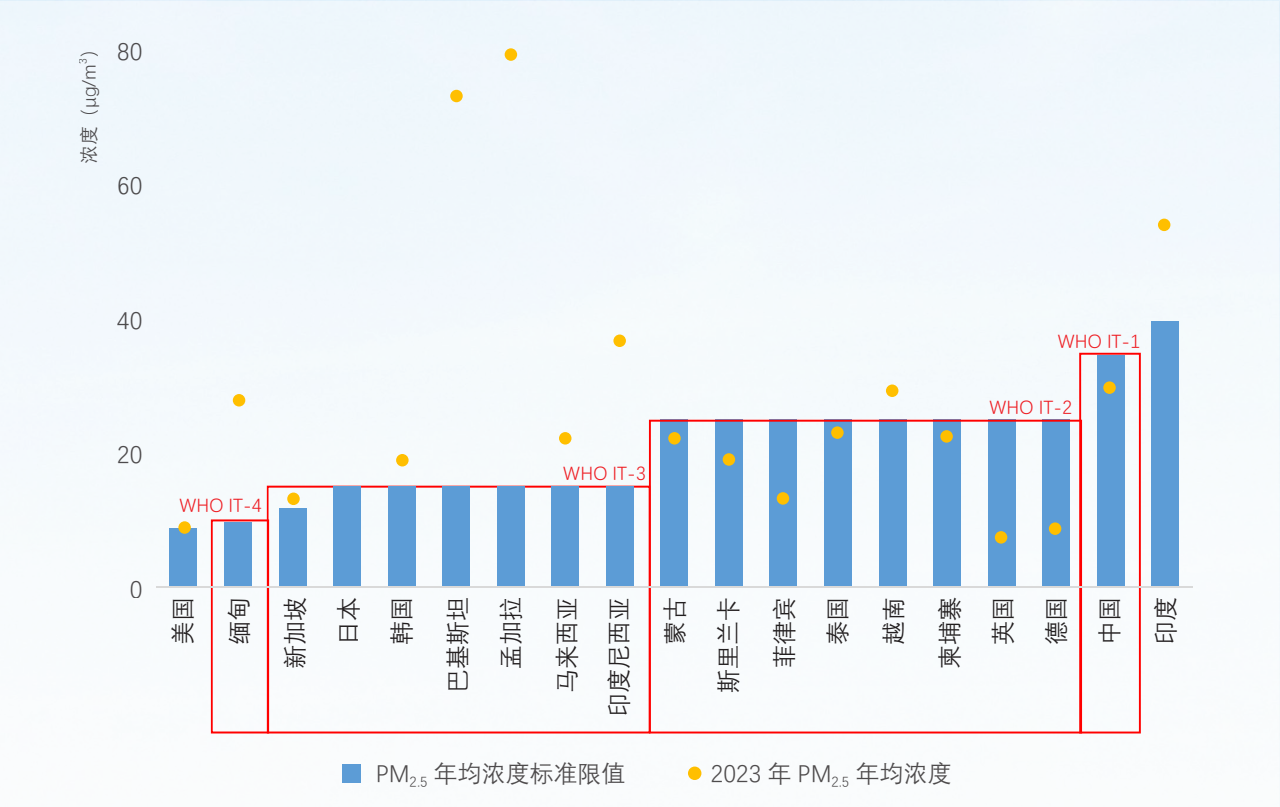


图 1.7 各国 PM_{2.5} 年均浓度标准限值和 2023 年监测浓度

注：1. 美国标准限值分为主要标准和次要标准两级，主要标准旨在保护人体健康，次要标准保护公共福利，图中采用前者。
2. 中国标准限值分为两级：一级标准适用于自然保护区、风景名胜区和需要特殊保护的区域，这些区域空气质量优良、人烟稀少；二级标准适用于居住区、商业交通居民混合区、文化区、工业区和农村地区等需要着重保护人体健康的地区，图中采用后者。
3. 印度标准分为适用生态敏感区的限值和工业区、居住区等的限值，图中采用后者。
4. 尼泊尔标准没有规定 PM_{2.5} 年均浓度限值。

数据来源：各国官方发布的环境空气质量标准，IQAir 历史空气质量数据库

中国 PM_{2.5} 年均浓度标准限值参考 WHO IT-1，是最为宽松的过渡阶段目标，仅比印度标准严格。但中国标准对于空气质量改善起到了积极的引领作用，当前全国整体 PM_{2.5} 年均浓度已经低于标准限值要求，为 30μg/m³。

有近一半亚洲国家的空气质量不能达到当地标准。尽管巴基斯坦、孟加拉国、缅甸等国家设置了相对严格的限值（参考 WHO IT-3、IT-4），但监测的 PM_{2.5} 年均浓度却超标严重。

美国和欧盟相继加严 PM_{2.5} 的空气质量标准限值。2024 年 2 月，美国将 PM_{2.5} 的年均浓度限值由 12μg/m³ 加严到 9μg/m³。欧盟也于 10 月份通过了更新空气质量标准的提案，其中 PM_{2.5} 的年度限值由 25μg/m³ 加严到 10μg/m³。

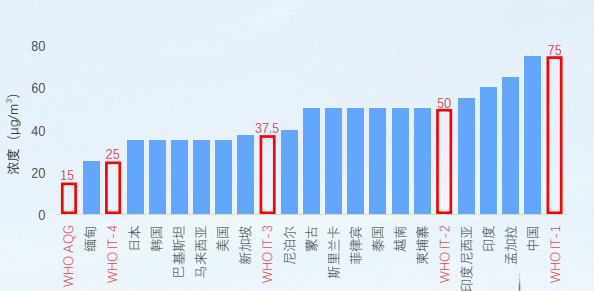


图 1.8 各国 PM_{2.5} 24 小时浓度标准限值

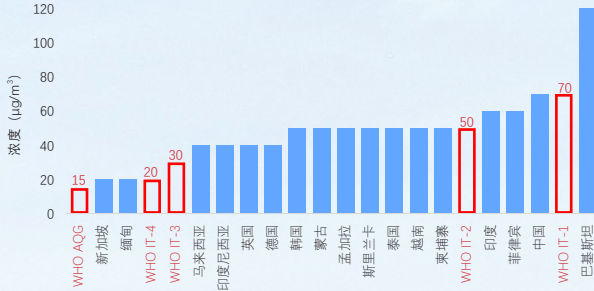


图 1.9 各国 PM₁₀ 年均浓度标准限值

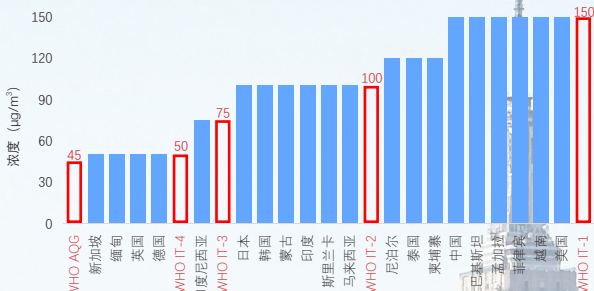


图 1.10 各国 PM₁₀ 24 小时浓度标准限值



图 1.11 各国 SO₂ 24 小时浓度标准限值

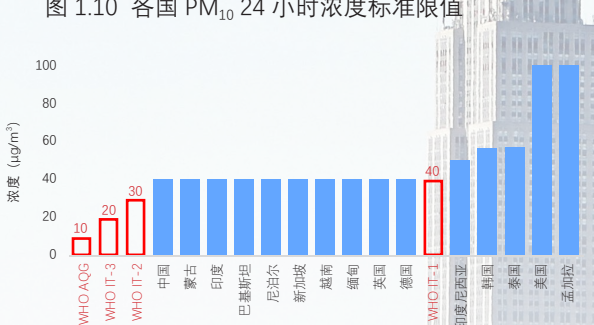


图 1.12 各国 NO₂ 年均浓度标准限值



图 1.13 各国 NO₂ 24 小时浓度标准限值

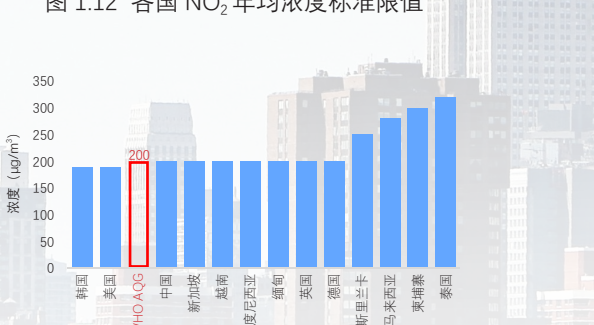


图 1.14 各国 NO₂ 小时浓度标准限值

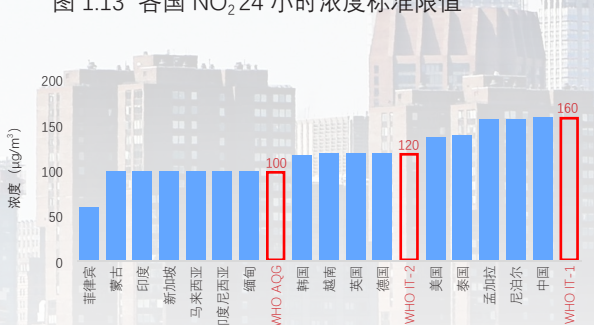


图 1.15 各国 O₃ 8 小时浓度标准限值

空气污染物排放

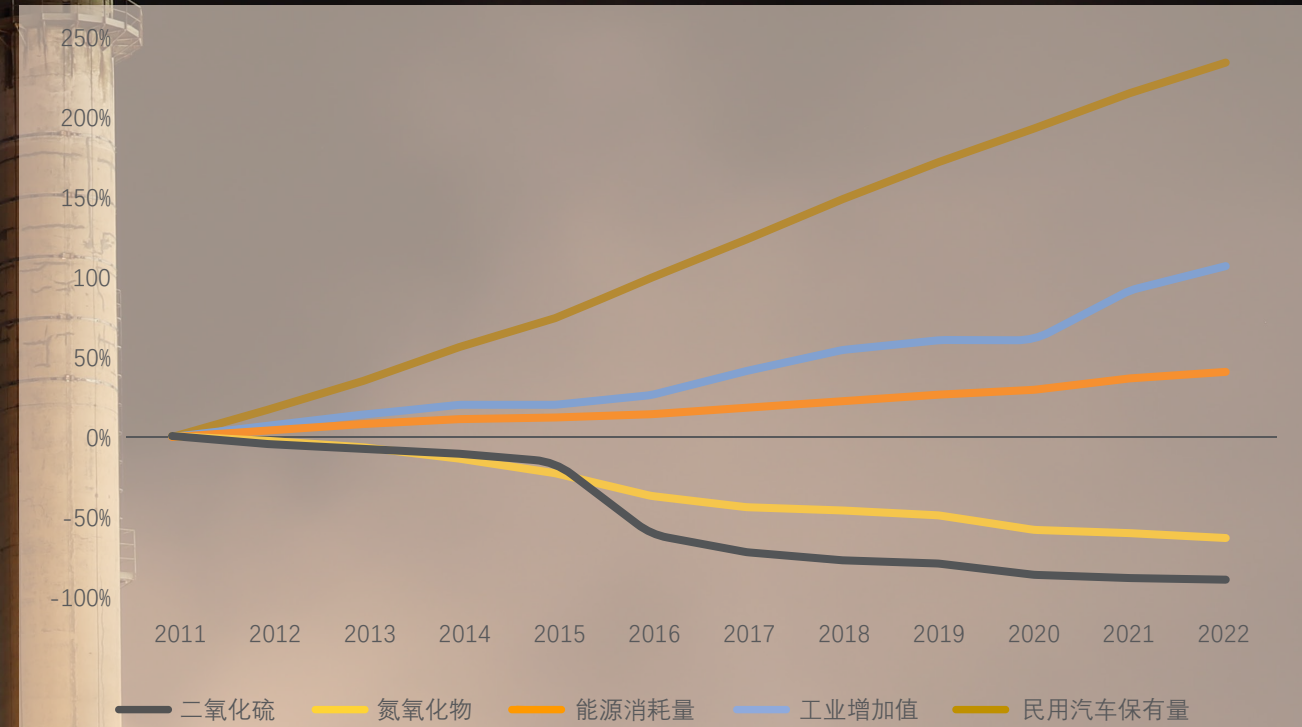


图 2.1 2011–2022 年中国工业增加值、能源消费量、民用汽车保有量与大气污染物排放量变化情况

数据来源：2012–2023 年历年中国统计年鉴

2011–2022 年，中国能源消耗量、工业增加值和民用汽车保有量在持续稳步增长，分别上升了 40%、106% 和 233%。得益于一系列排放控制政策措施的出台和有效执行，中国在同期实现了主要大气污染物 SO_2 和 NO_x 排放量快速下降， SO_2 的排放量从 2217.9 万吨降低到了 243.5 万吨， NO_x 的排放量从 2404.3 万吨降低到了 900.6 万吨，降幅分别为 89% 和 63%。

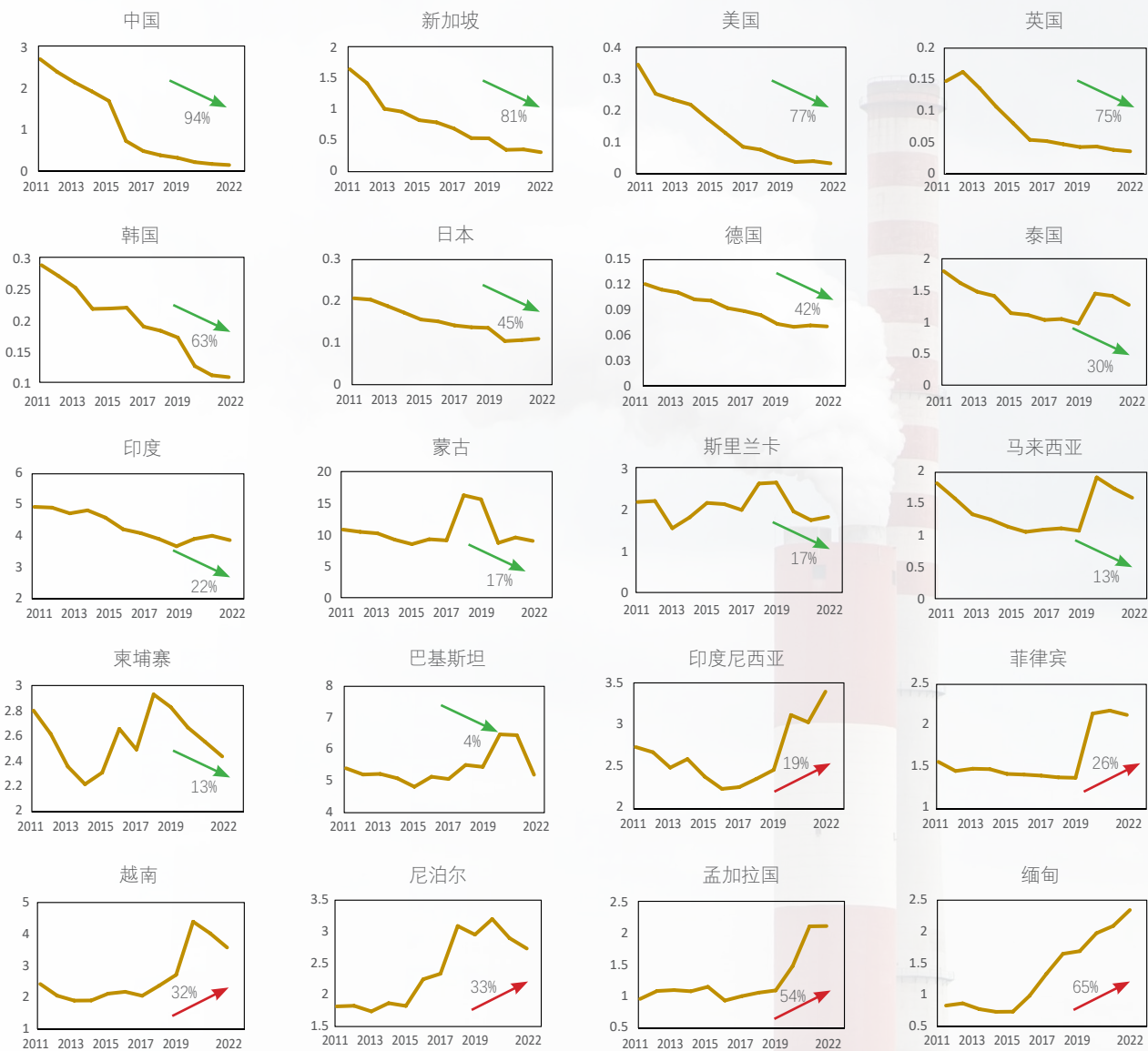


图 2.2 2011-2022 年各国 SO₂ 的单位 GDP 排放量变化趋势

单位：千克 /1,000 美元（2015 年不变价）

数据来源：Community Emissions Data System (CEDS)，World Development Indicators 数据库

中国实现了主要大气污染物排放强度的同步大幅下降。2011-2022 年，中国 SO₂ 的单位 GDP 排放量下降了 94% 以上，NO_x 下降了 81% 以上，降幅均高于其它各国。发达国家的降幅普遍高于其他亚洲发展中国家，新加坡、美国、英国、韩国、日本、德国的 SO₂ 单位 GDP 排放量降幅范围为 42%-81%，NO_x 的降幅范围为 37%-55%。



图 2.3 2011-2022 年各国 NO_x 的单位 GDP 排放量变化趋势

单位：千克 /1,000 美元（2015 年不变价）

数据来源：Community Emissions Data System (CEDS)，World Development Indicators 数据库



图 2.4 2011-2022 年各国 SO₂ 的单位 GDP 排放量与排名

单位: 千克 /1,000 美元 (2015 年不变价)

数据来源: Community Emissions Data System (CEDS), World Development Indicators 数据库

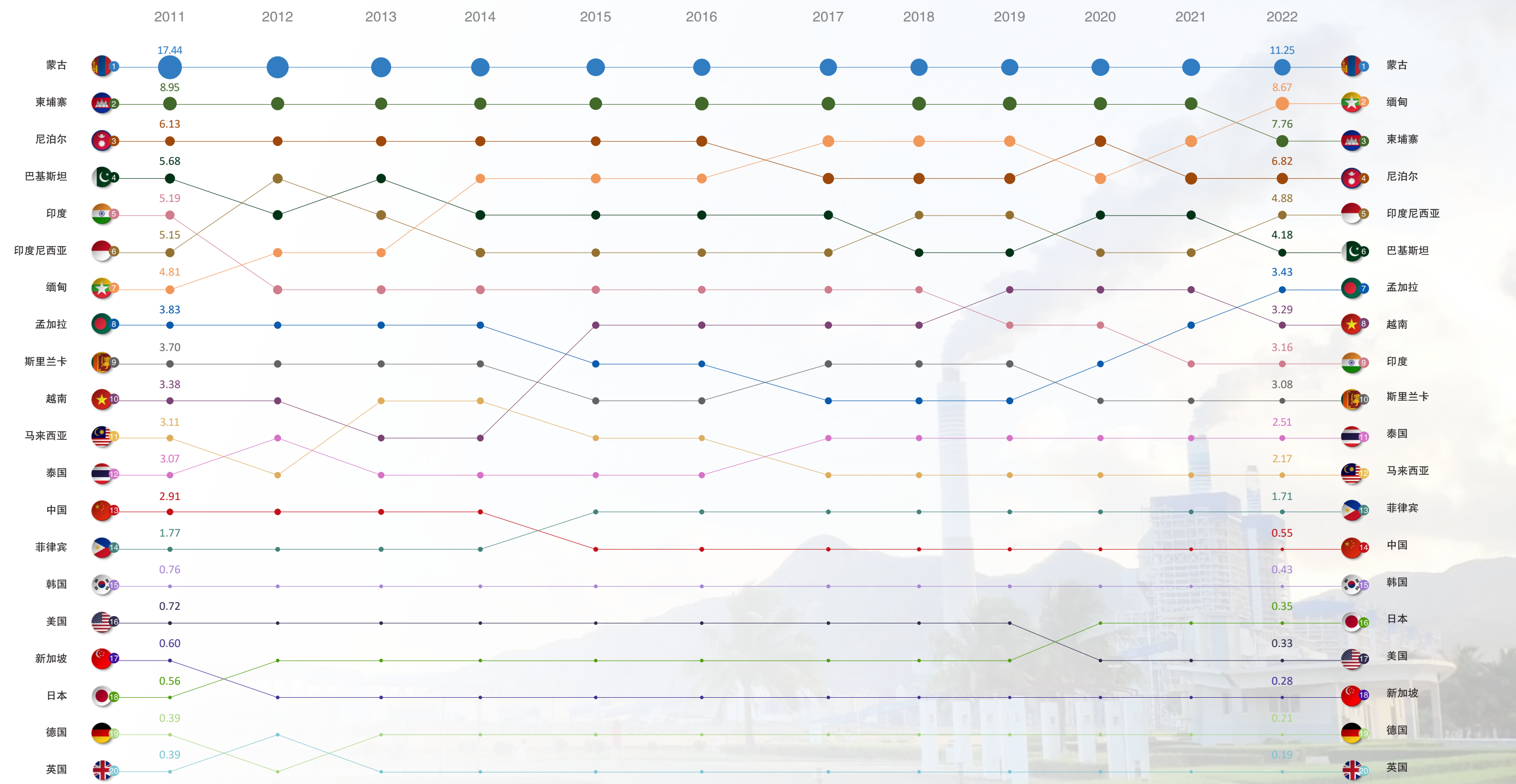


图 2.5 2011-2022 年各国 NO_x 的单位 GDP 排放量与排名

单位：千克 /1,000 美元（2015 年不变价）
数据来源：Community Emissions Data System (CEDS)，World Development Indicators 数据库

欧美和亚洲发达国家的单位 GDP 排放持续下降趋势，每一千美元的 SO₂ 和 NO_x 排放量已低于 0.5kg，而中国通过十年的减排努力，与发达国家的差距已大幅缩小。当前，亚洲发展中国家的单位 GDP 排放仍然较高，其中蒙古的情况最为不利。

温室气体排放

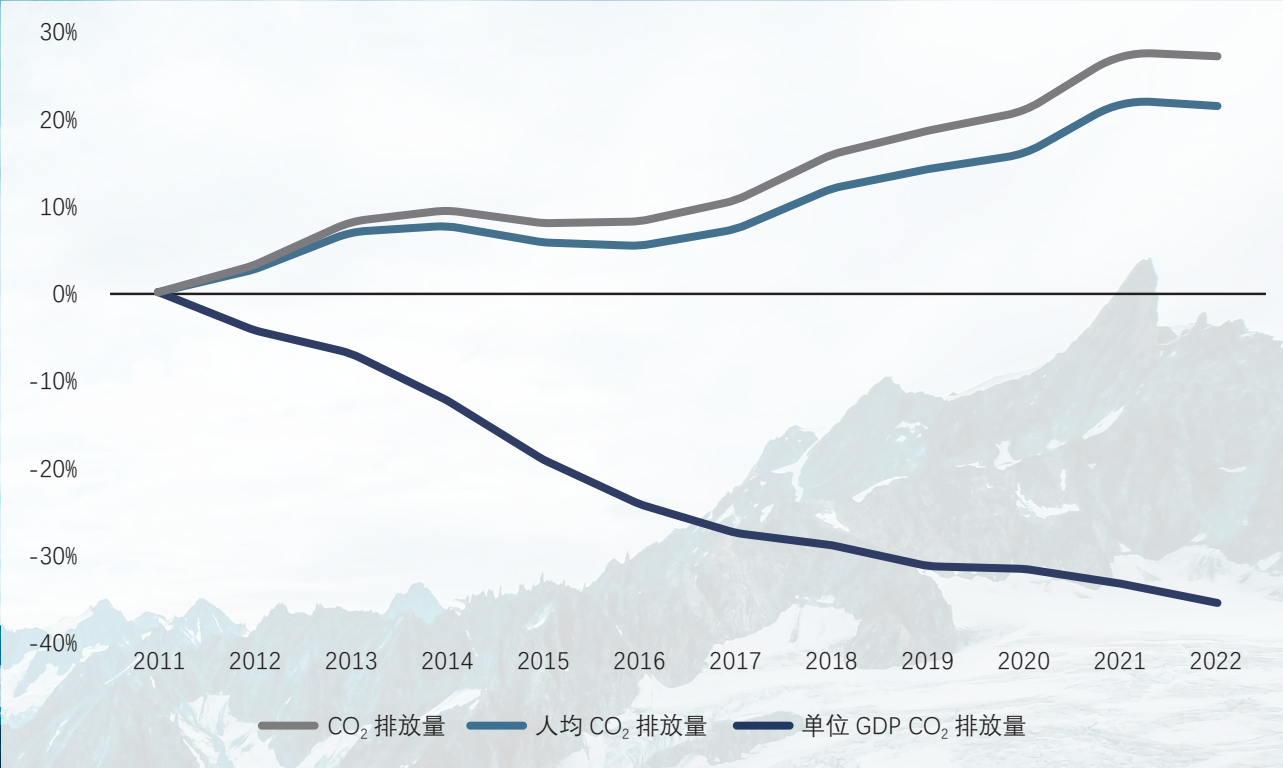


图 3.1 2011–2022 年中国 CO₂ 排放量、人均 CO₂ 排放量与单位 GDP 排放量变化情况

数据来源：Emissions Database for Global Atmospheric Research

2011–2022 年，伴随经济快速发展和能源消费量不断增加，中国 CO₂ 排放总量持续上升。收入水平增加对于人均 CO₂ 排放量的拉动明显，2011–2022 年间增加了 21.3%。同时，中国正在从粗放式经济发展逐步转向高质量发展，2022 年单位 GDP 的 CO₂ 排放量相比 2011 年下降幅度高达 35.6%。

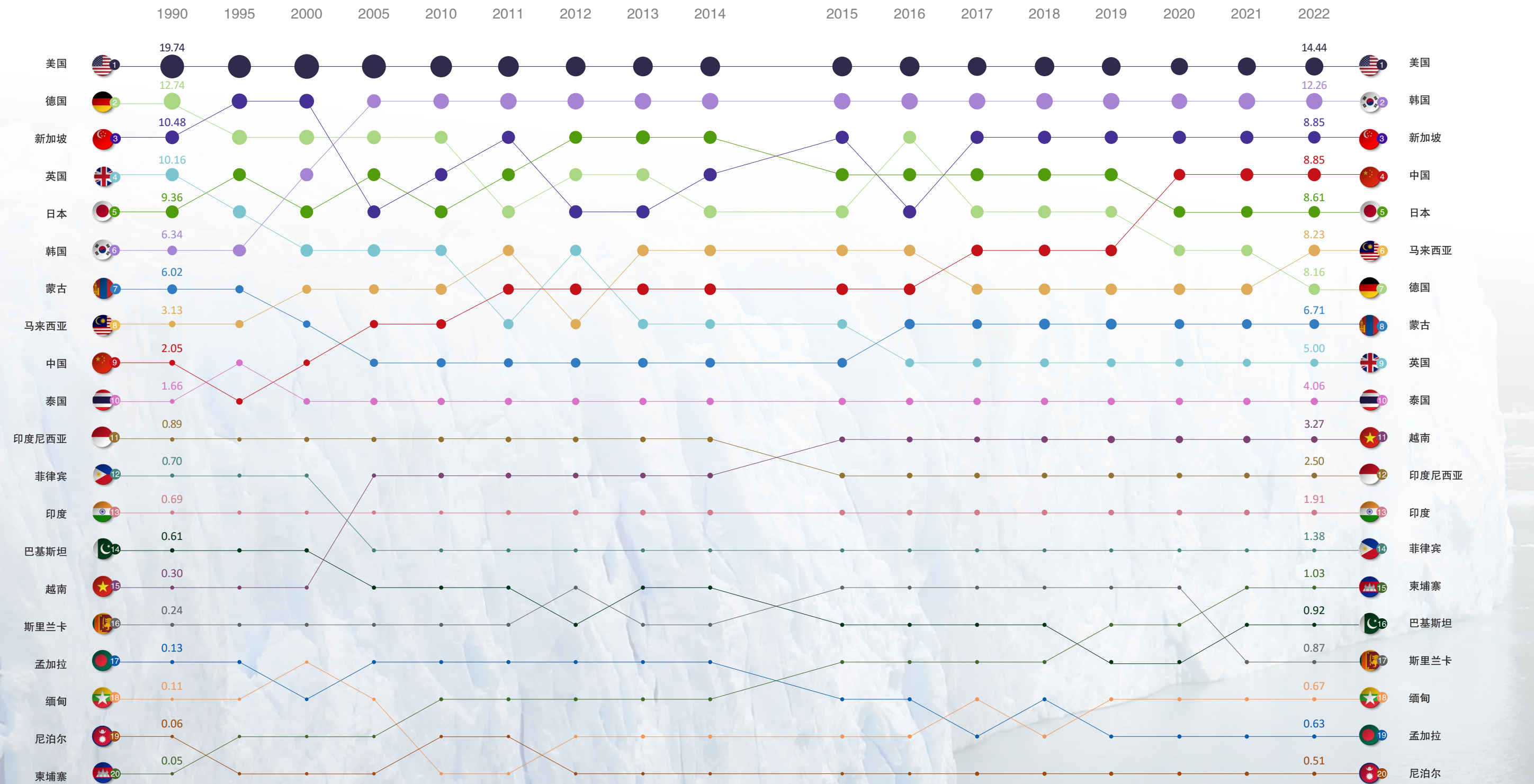


图 3.2 1990-2022 年各国人均 CO₂ 排放量与排名

单位：吨 / 人

数据来源：Emissions Database for Global Atmospheric Research

随着经济水平和用能提升，亚洲发展中国家人均 CO₂ 排放量在持续上升，而人均 CO₂ 排放量水平普遍较高的发达国家则整体呈现下降趋势。2022 年，中国人均碳排放为 8.85 吨，约是美国的 60%，也低于亚洲发达国家韩国和新加坡。



图 3.3 1990-2022 年各国单位 GDP CO₂ 排放量与排名

单位：吨 /1000 美元
数据来源：Emissions Database for Global Atmospheric Research

作为全球碳排放第一的大国，中国在谋求发展的同时将温室气体排放控制作为重要目标。在“十二五”、“十三五”规划阶段，中国分别提出单位 GDP CO₂ 排放下降 17% 和 18% 的目标。1990-2022 年，中国通过能源结构与产业结构调整、节能与能效提升等多种方式，排放强度实现了高约 67% 的降幅。

2010 年以来，欧美和多数亚洲国家的单位 GDP 排放量也保持下降的态势，仅柬埔寨、尼泊尔、缅甸、越南的排放强度呈上升趋势，最高升幅达到 140% 以上。

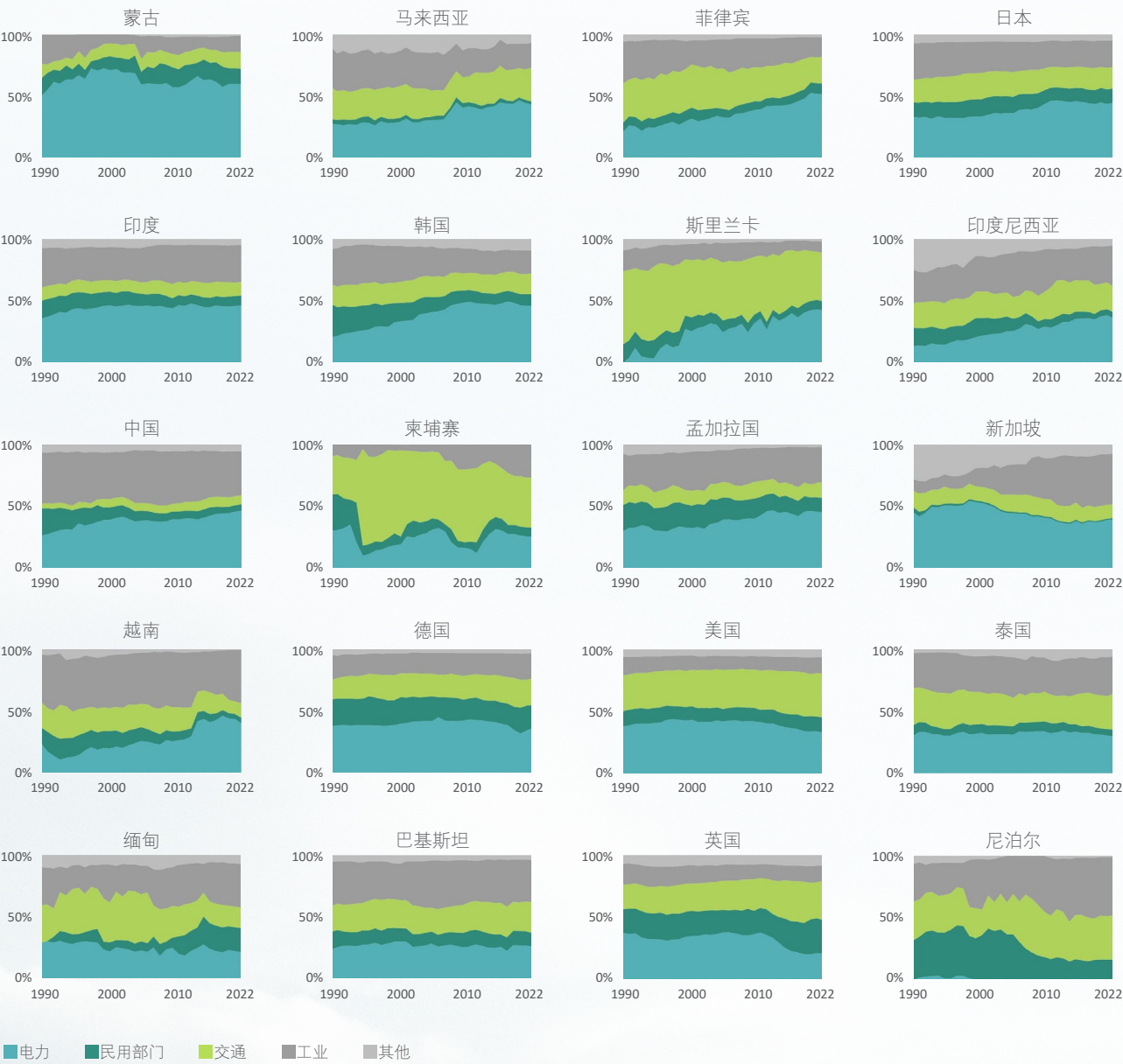


图 3.4 1990-2022 年各国 CO₂ 分部门排放结构变化趋势

数据来源：Emissions Database for Global Atmospheric Research

当前，电力和工业是中国碳排放最多的前两个部门，占比接近全国总排放量的七成。其中，电力行业排放量近 59 亿吨，占比超过总量的四成，是碳排放最大的行业。

大部分亚洲国家的分行业排放结构和中国类似，由电力行业主导排放贡献，其占比在 29.7%-59.9% 之间；巴基斯坦、尼泊尔、新加坡、越南、缅甸除外，其碳排放占比最大的行业都是工业；柬埔寨、英国和美国排放量最高的行业是交通。

国家	2020 年 CO ₂ 排放量（百万吨）	年份	降碳目标
 中国	11,680.4	2060	Carbon neutral
 美国	4,535.3	2050	Net zero
 印度	2,411.7	2070	Net zero
 日本	1,061.8	2050	Net zero
 德国	636.9	2045	GHG neutral
 韩国	621.5	2050	Net zero
 印度尼西亚	568.3	2060	Net zero
 越南	321.9	2050	Net zero
 英国	313.7	2050	Net zero
 马来西亚	262.2	2050	Carbon neutral
 泰国	255.5	2050	Net zero
 巴基斯坦	217.0	2050	Net zero
 菲律宾	139.2		
 孟加拉国	108.5		
 新加坡	56.1	2050	Net zero
 蒙古	38.2		
 缅甸	37.7	2050	Net zero
 斯里兰卡	23.7	2060	Carbon neutral
 尼泊尔	17.9	2045	Net zero
 柬埔寨	15.8	2050	Net zero

图 3.5 各国降碳目标

2020 年，中国正式宣布将力争 2030 年前实现碳达峰、2060 年前实现碳中和。这一重大战略决策对于中国和全球来说都非常关键，彰显了中国和各国携手共进应对全球气候变化的决心和信心，为缩小全球排放差距、全面有效落实《巴黎协定》做出积极贡献。

在全球迈向碳中和与净零排放的趋势下，众多亚洲国家都宣布了脱碳目标。当前，世界能源消费约 1/3 发生在亚洲，约 1/2 的 CO₂ 排放量由亚洲贡献，亚洲各国面临的减排任务十分艰巨。

其中，中国承诺实现从碳达峰到碳中和的时间，远远短于发达国家所用时间，需要付出艰苦努力，才能在这一赛道续写“中国速度”的传奇。

能源

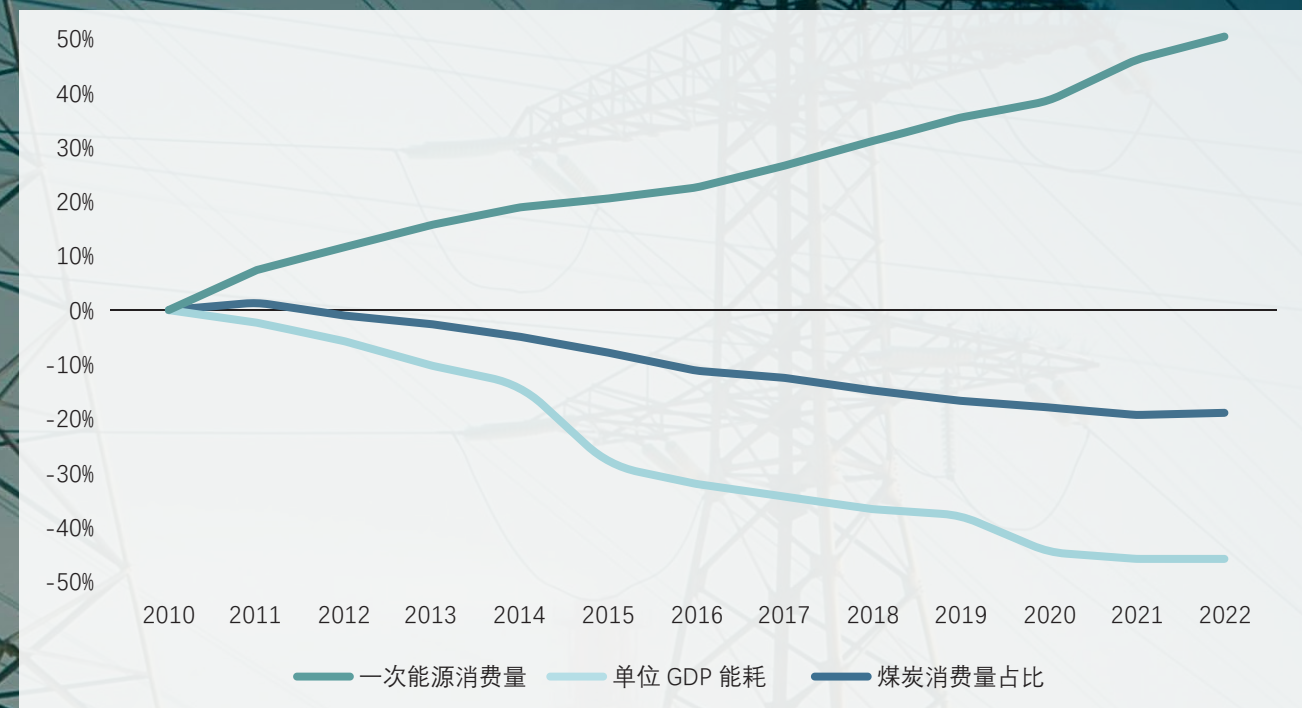


图 4.1 2010–2022 年中国一次能源消费量、单位 GDP 能耗、煤炭消费量占比变化趋势

数据来源：2011–2023 年历年中国统计年鉴

2010–2022 年，中国经济快速增长，能源消费量呈现出稳定增长的趋势，2022 年能源消费总量比 2010 年增长了 50%。在能源消费量不断增长的同时，中国的能源行业也在进行清洁低碳转型，风电和太阳能发电装机增长显著，截至 2022 年底的累计装机容量已是 2010 年的 24 倍多。

作为全球煤炭消费第一大国，中国的煤炭消费比重呈现出下降趋势，2022 年煤炭消费比重比 2010 年下降了 13 个百分点，降幅达 18.8%，但整体能源消费结构仍然以煤炭为主导，占 56.2%。随着能源结构和产业结构的优化调整，中国单位 GDP 能耗稳步下降，2022 年相比 2010 年下降幅度达到 45.5%。

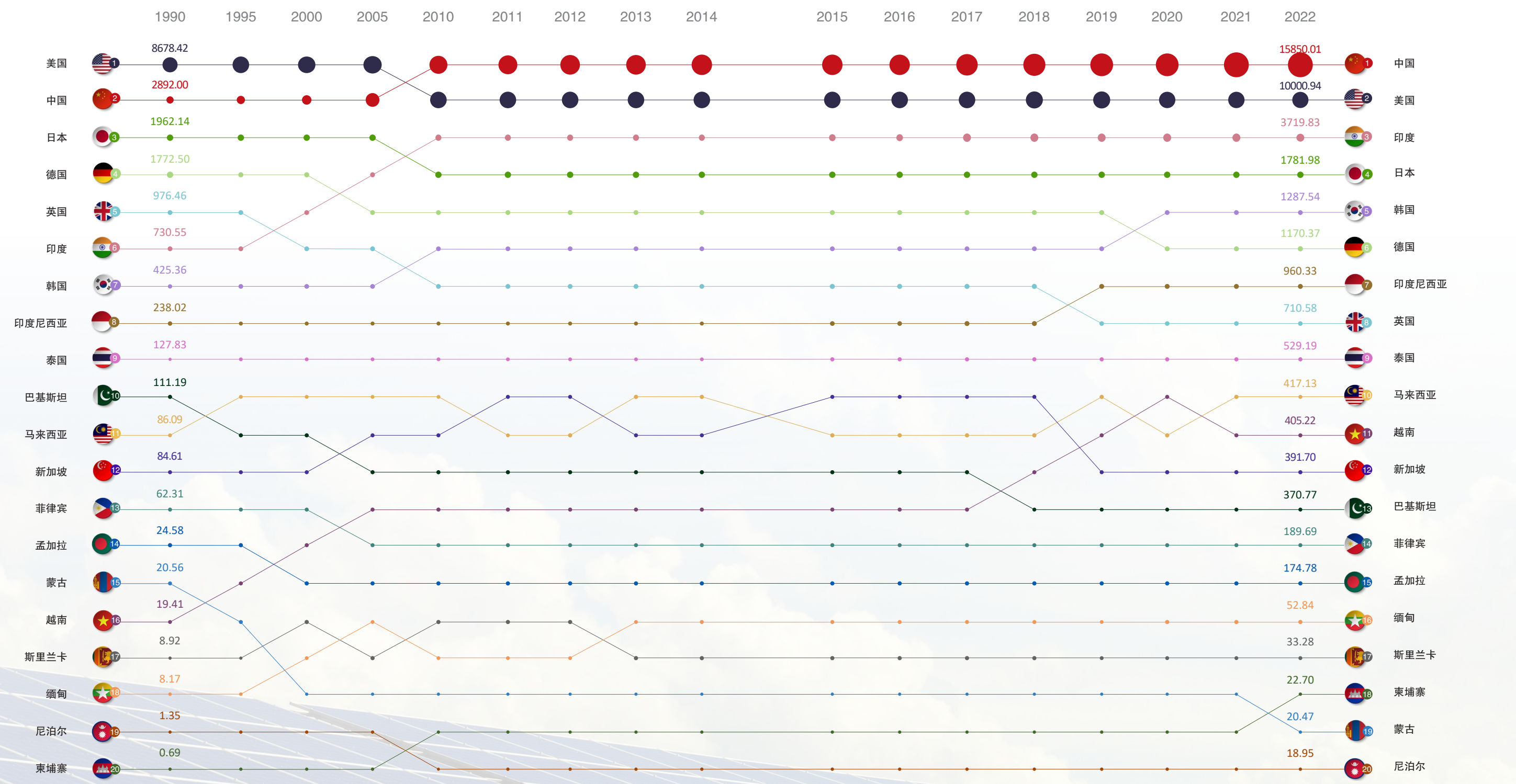


图 4.2 1990-2022 年各国一次能源消费量变化趋势与排名

单位: 亿亿焦耳

数据来源: U.S. Energy Information Administration 数据库

过去 30 年间, 绝大多数亚洲国家能源消费量呈现快速增长的趋势。中国的能源消费量增长了四倍多, 在 2000-2010 年间增速最为迅猛, 期间超越美国成为能源消费量最大的国家。

2010 年后, 各国能源消费量增长速度放缓, 消费量基本趋于稳定。2022 年, 中国的能源消费总量全球第一, 达到 15850 亿亿焦耳。美国、印度的能源消费量仍在攀升, 而日本则呈下降趋势。

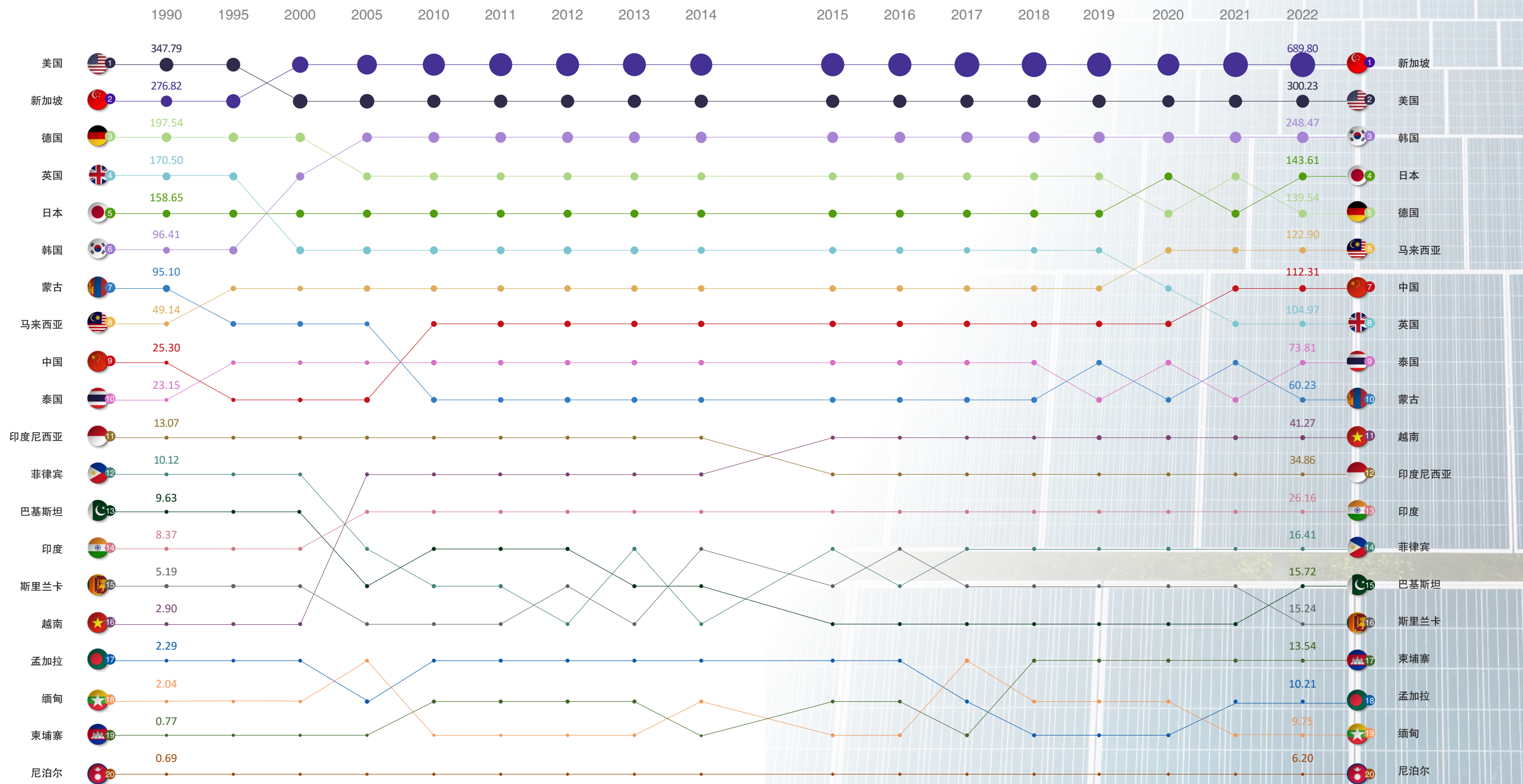


图 4.3 1990-2022 年各国人均能源消费量变化趋势与排名

单位：十亿焦耳 / 人
数据来源：U.S. Energy Information Administration 数据库

人均能源消费量与经济发展程度高度相关，大部分亚洲国家过去 30 年人均能源消费量增长超过 100%。中国的人均能源消费量也经历了大幅度增长，2022 年的人均能源消费量是 1990 年的 4 倍多，但仍然低于新加坡、美国、德国等亚洲和欧美的发达国家，约为美国的四成左右。

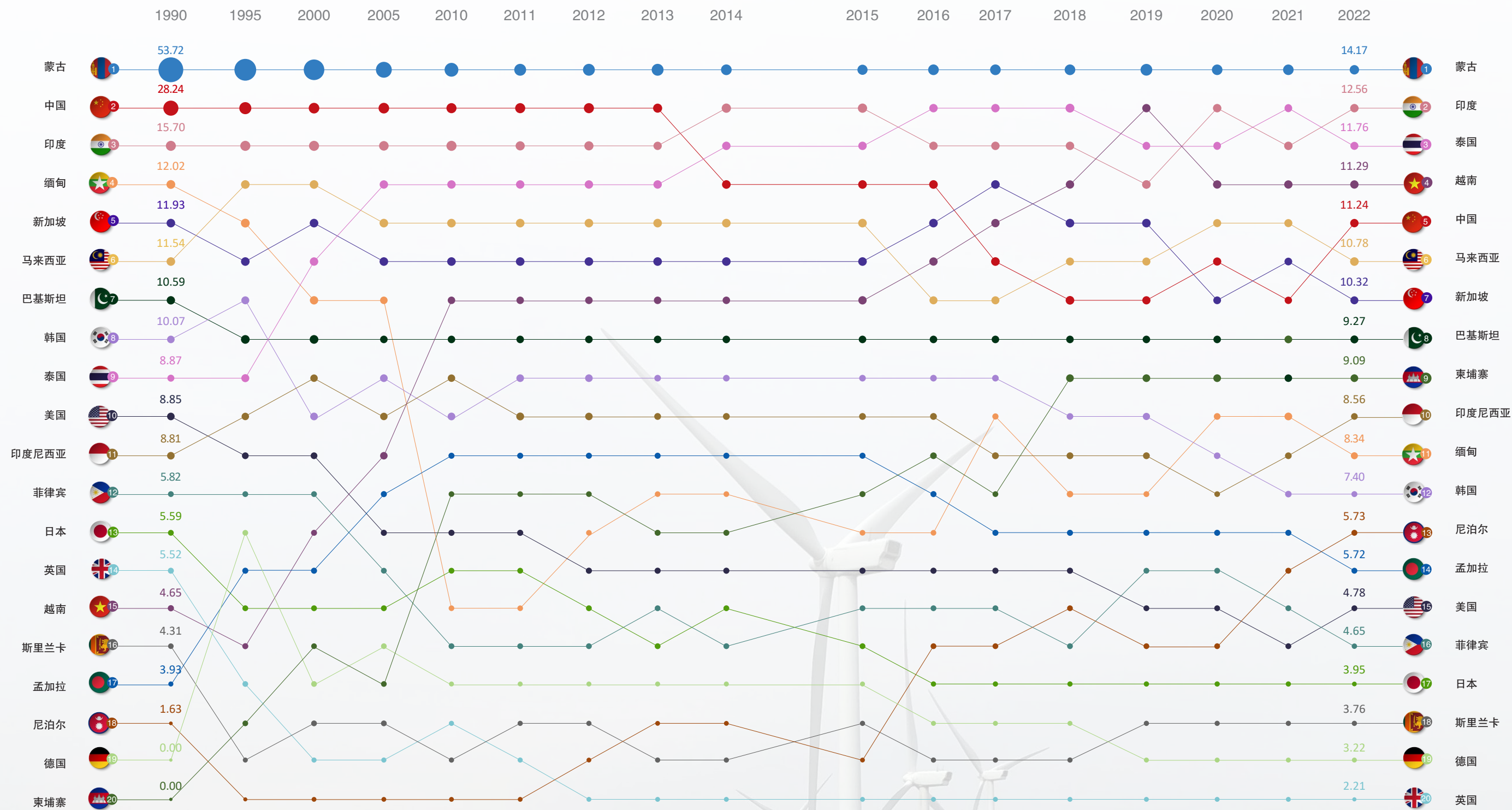


图 4.4 1990-2022 年各国单位 GDP 能耗变化趋势与排名

单位：百万焦耳 /2015 年不变价美元

注：德国和柬埔寨缺少 1990 年数据

数据来源：U.S. Energy Information Administration 数据库，World Development Indicators 数据库

1990-2022 年，大部分亚洲国家的单位 GDP 能耗呈现出下降趋势，降幅在 4.2%-73.6% 之间。中国由 28.24 百万焦耳 /2015 年美元降至 11.24 百万焦耳 /2015 年美元，降幅达 60.2%。但中国当前的水平相比发达国家仍有差距，能源和产业结构的调整和优化任重道远。

亚洲国家中，越南、柬埔寨、尼泊尔、孟加拉的能耗强度呈现上升趋势，其中越南 2022 年的能耗强度是 1990 年的 2.6 倍。尽管蒙古能耗强度基本呈下降趋势，但其能耗强度水平一直处于高位。

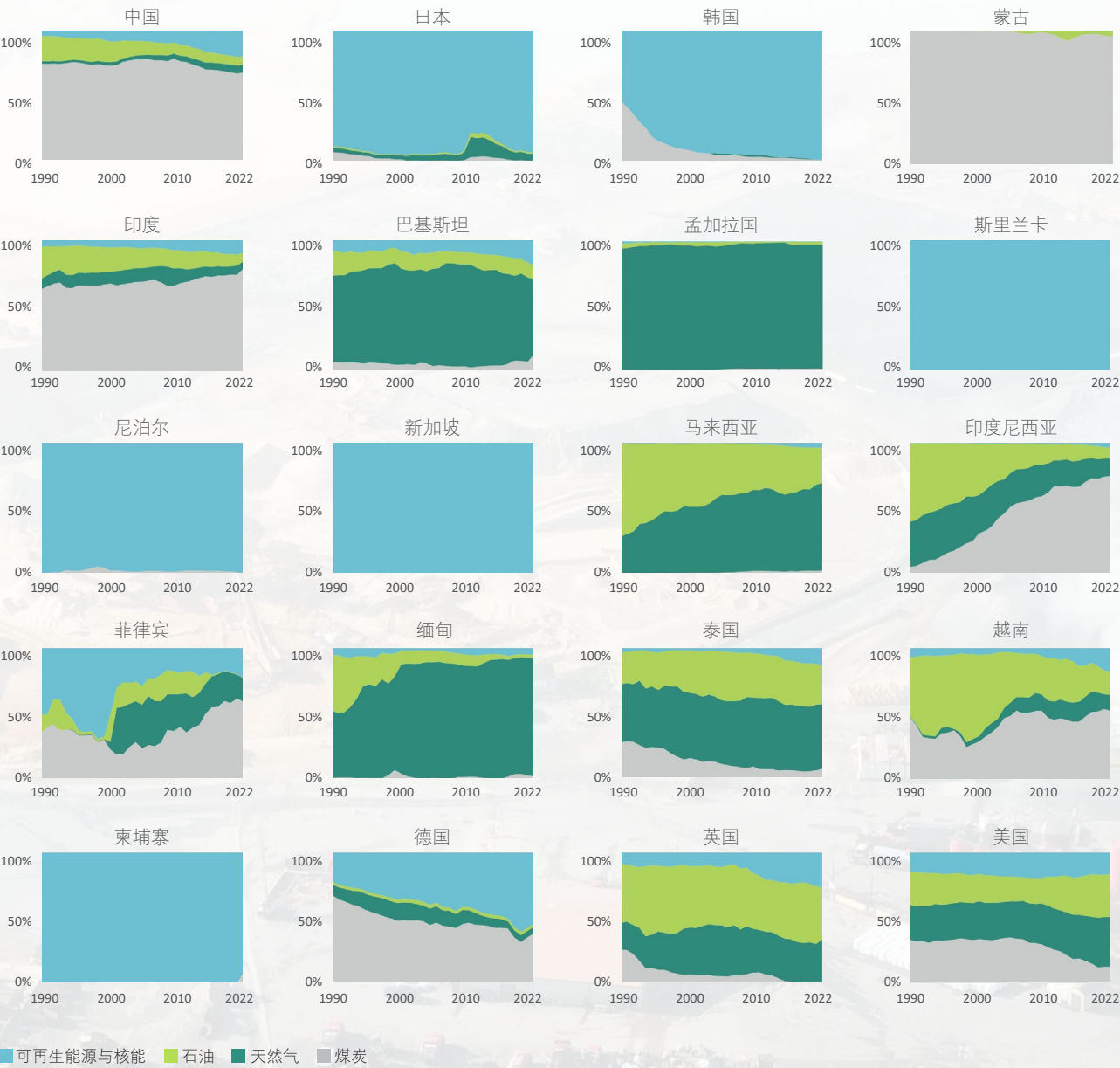


图 4.5 1990-2022 年各国能源生产结构变化趋势

数据来源：U.S. Energy Information Administration 数据库

中国因“富煤、缺油、少气”的资源禀赋特点，煤炭在能源生产结构中始终占据主体地位。但近十年来，煤炭比重呈现出缓慢的下降趋势。蒙古和印度的能源生产结构同样以煤炭为主体，印尼也逐渐发展为煤炭生产占主导的产能格局。菲律宾、越南的煤炭生产占比也有明显提升。

欧美国家煤炭生产比重均明显下降，其中德国和英国的可再生能源与核能的生产比重大幅度上升，能源清洁化转型趋势明显。

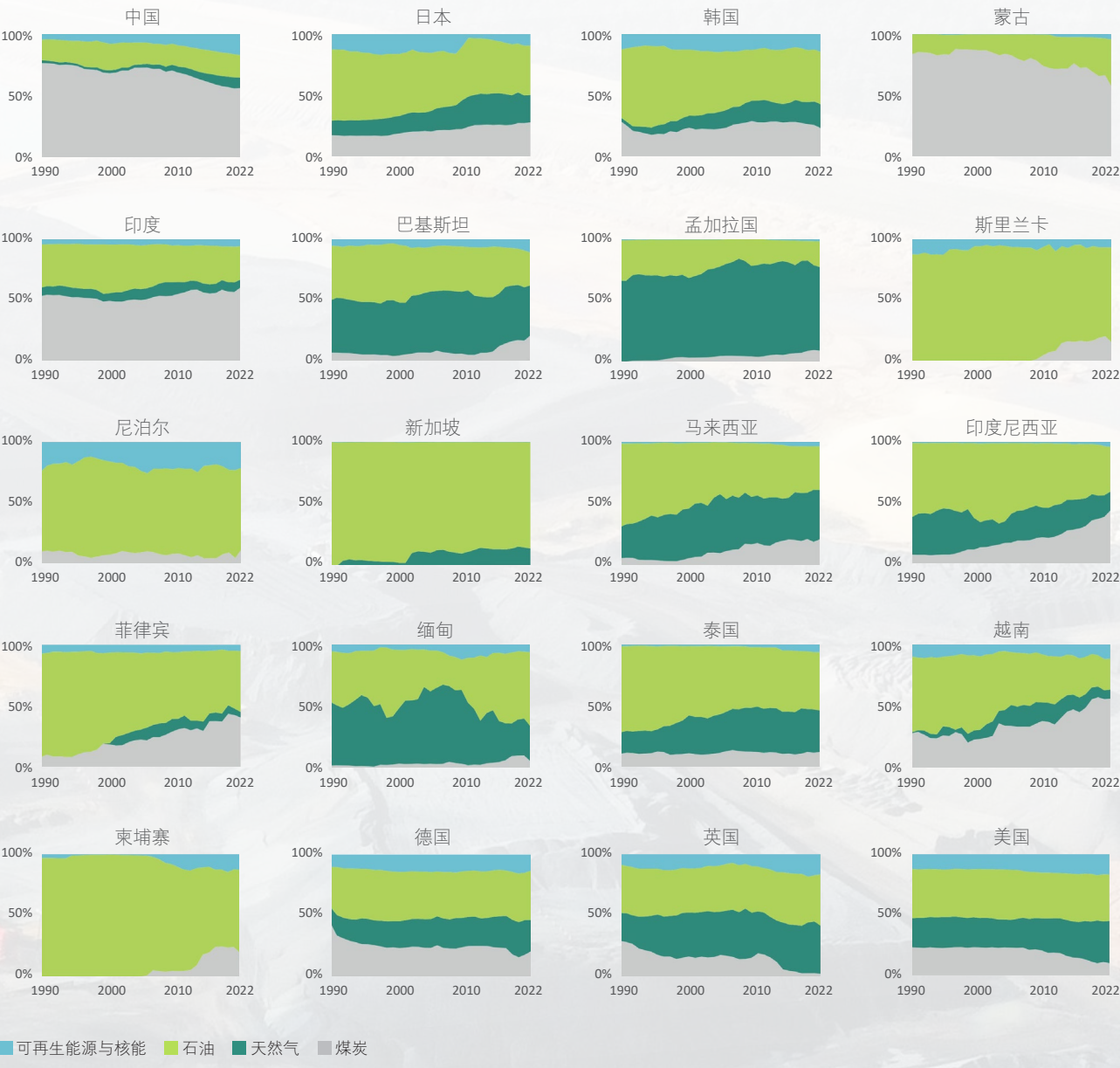


图 4.6 1990-2022 年各国能源消费结构变化趋势

数据来源：U.S. Energy Information Administration 数据库

多数亚洲发展中国家普遍依赖化石能源，中国、蒙古、印度、越南的煤炭消费比重超过一半，而东南亚国家对石油的依赖明显，其中新加坡的石油消费占比达到 85%。

大部分亚洲国家的煤炭消费比重保持稳定或呈现上升趋势，其中印尼、菲律宾、越南的上升趋势更为明显，蒙古、中国呈下降趋势。

美国、英国、德国的能源消费结构仍以化石能源为主，但三国的煤炭消费比重均有明显下降。

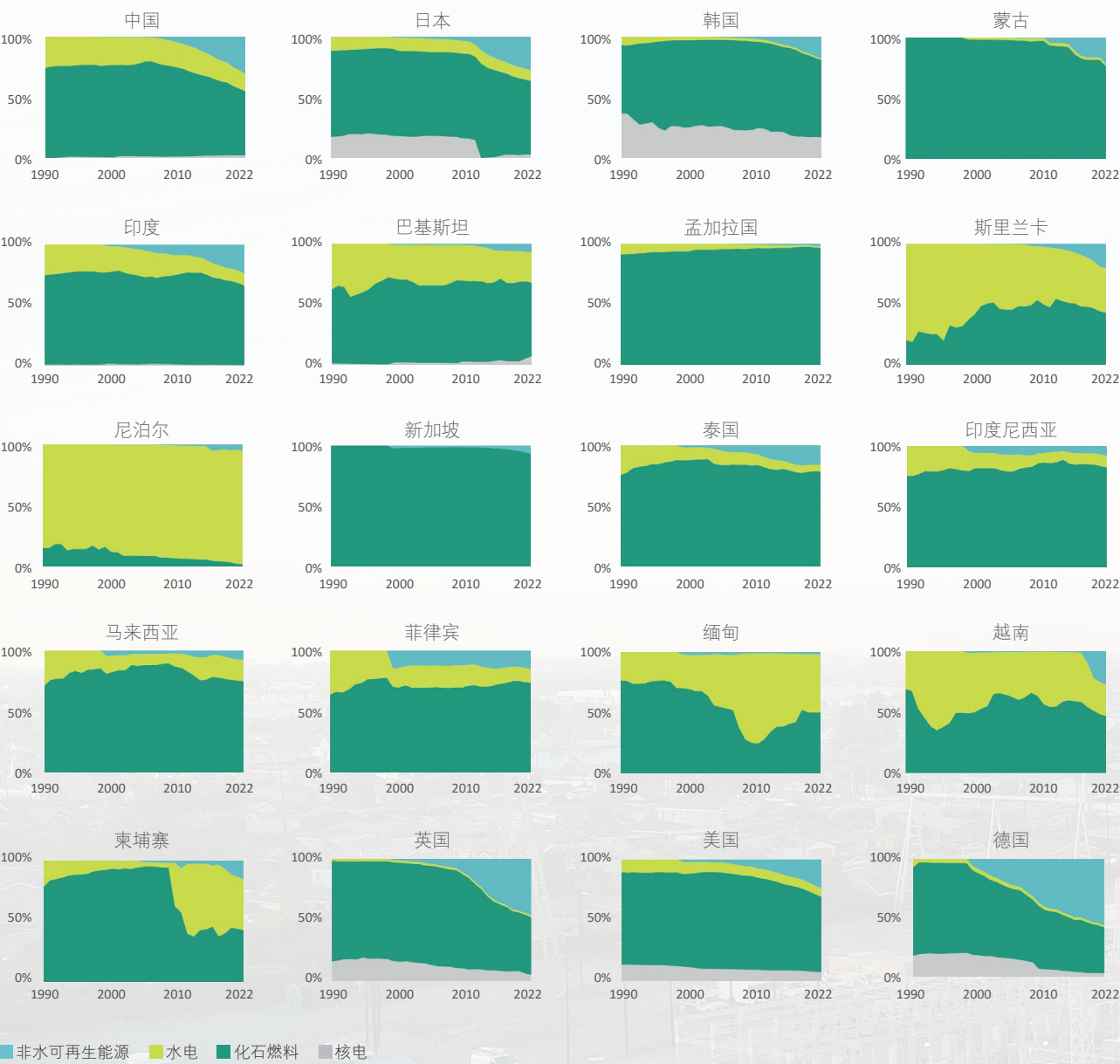


图 4.7 1990-2022 年各国电力装机结构变化趋势

数据来源：U.S. Energy Information Administration 数据库

亚洲发展中国家的电力消费、生产和装机容量整体都呈现出高速增长的趋势，中国的这三项指标在过去 30 年增长超过 10 倍，而发达国家则基本保持稳态。

绝大多数亚洲国家的电力装机结构中比重最高的是化石燃料装机，尼泊尔则是水电装机占据主体地位。近十年间，中国的化石燃料装机容量占比呈下降趋势，非水可再生能源的装机容量占比呈上升趋势。2018-2022 年，越南的非水可再生能源发展势头迅猛，装机容量占比从 2018 年的 1.6% 快速升至 2022 年的 27.6%。

英国、德国和美国的化石燃料装机容量比重都呈下降趋势，非水可再生能源装机占比则大幅度提高，英国、德国尤为明显。

亚洲各国的电力行业大气污染物排放管控力度差异较大，中国、韩国、印度的排放限值相对严格，中国最严，巴基斯坦、柬埔寨、斯里兰卡等国较为宽松，PM、SO₂、NO_x 均是中国超低排放限值的 10 倍以上。

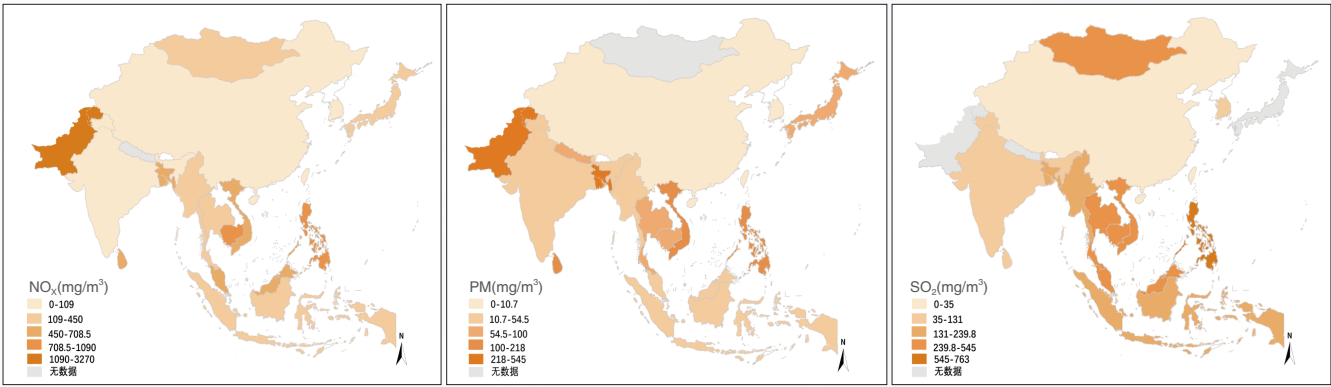


图 4.8 各国电力行业火电厂现行大气污染物排放限值

注：1. 欧盟的标准针对的是大于 300MW 以上设施。
2. 缅甸的颗粒物标准是针对 PM₁₀ 的限值。
3. 日本没有统一的 SO₂ 国家排放标准，取决于 K 值。根据排气口高度和分配给各个区域的 K 值来设定。一般排放标准：K=3.0-17.5；特殊排放标准：K=1.17-2.34。

数据来源：详见参考文献

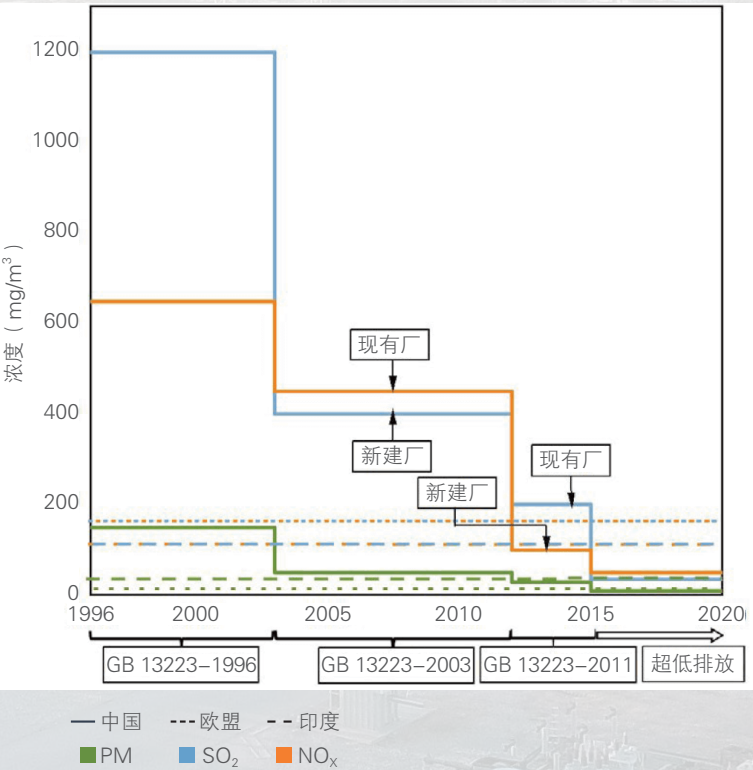


图 4.9 中国燃煤电厂大气污染物排放限值升级加严历程

注：现有厂是指标准发布时的在役电厂。

数据来源：详见参考文献

在过去的近 30 年间，中国电力行业的大气污染物排放控制限值不断升级加严，排放限值于 10 年前已达到全球最严水平。在大气污染物超低排放政策要求下，燃煤电厂 PM、SO₂ 和 NO_x 的排放限值分别为 10、35 和 50mg/m³，相比 1996 年的标准（GB13223-1996）限值分别加严了 93%、97% 和 92%，其中 SO₂ 和 NO_x 的排放限值分别是欧盟限值的 1/5 和 1/3。

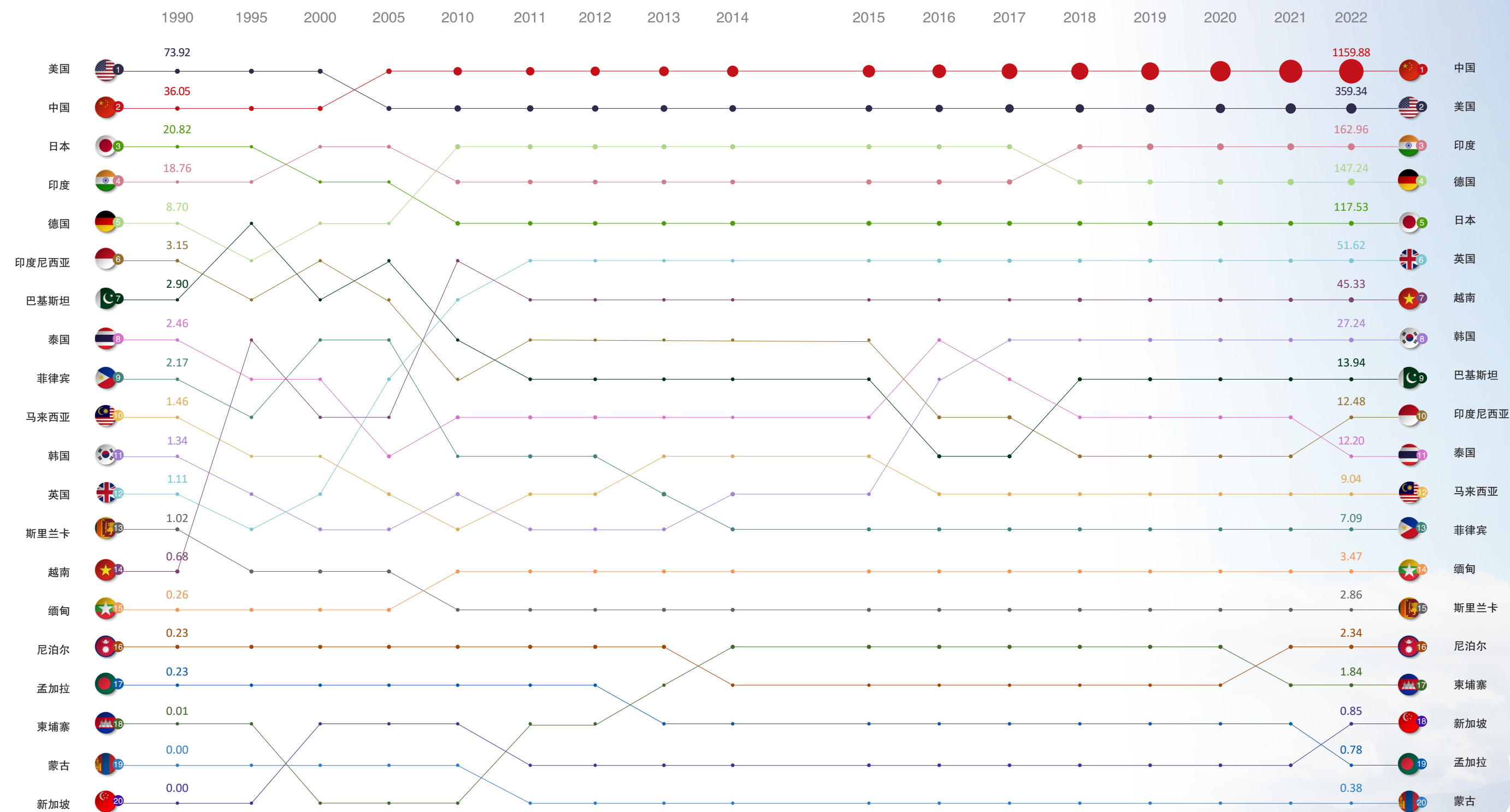


图 4.10 1990-2022 年各国可再生能源装机容量变化趋势与排名

单位：百万千瓦
数据来源：U.S. Energy Information Administration 数据库

过去的 30 余年中，中国的可再生能源装机容量持续快速增长，于 2004 年超过美国并一直稳居全球第一，截至 2022 年底的可再生能源累计装机量已是 1990 年的 32 倍。在风电、光伏等非水可再生能源的带动下，中国可再生能源装机量已接近全国发电装机总量的一半。

自 2010 年起，大部分亚洲国家的可再生能源装机量都呈现数倍的增长，一些长期依赖化石能源的国家，如蒙古、印度、日本、韩国等在 2015 年后可再生能源装机占比明显增加。

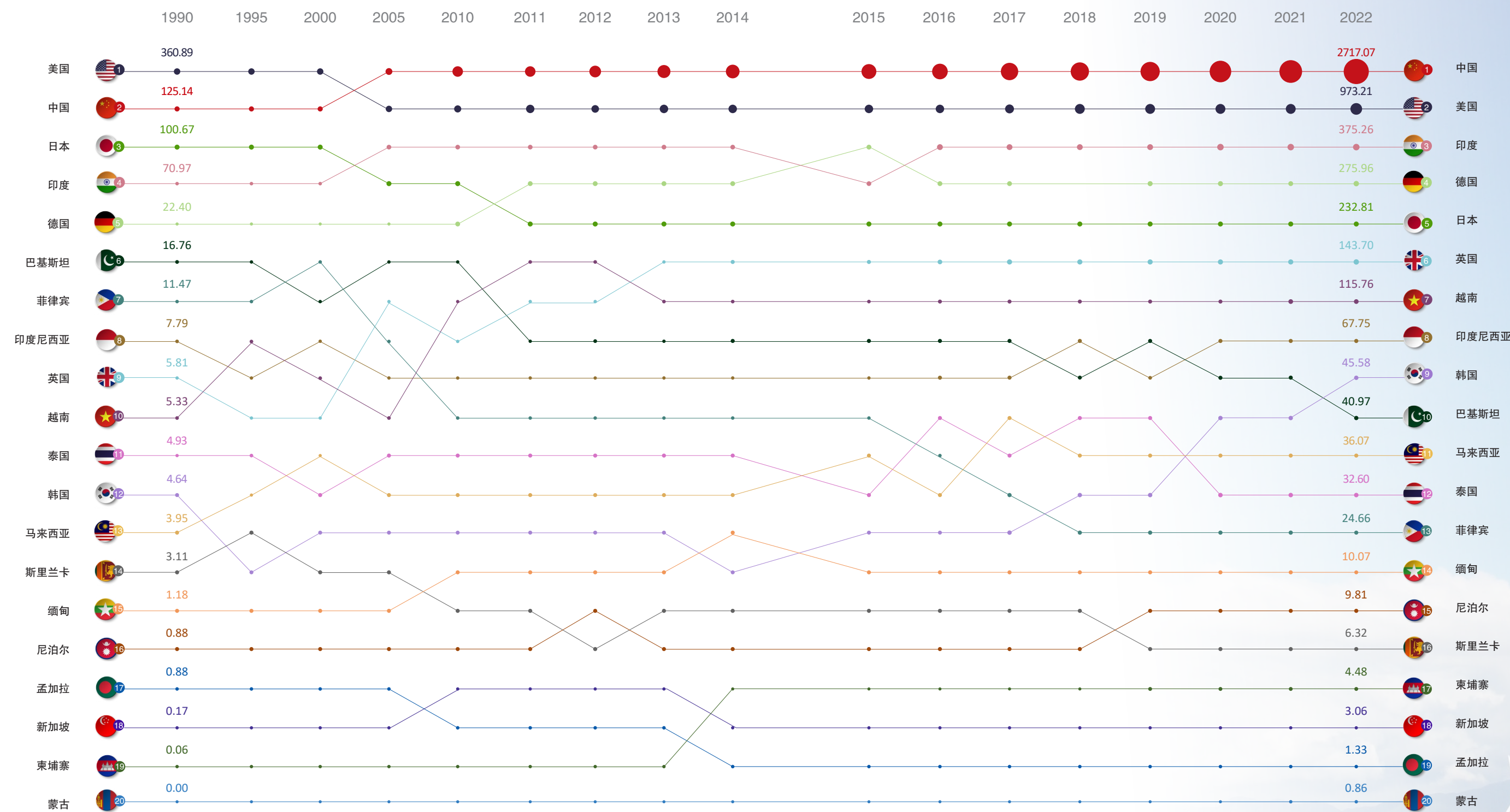


图 4.11 1990-2022 年各国可再生能源发电量变化趋势与排名

单位：十亿千瓦时

数据来源：U.S. Energy Information Administration 数据库

伴随着可再生能源装机容量的高速增长，中国的可再生能源发电量也呈现相同的趋势，于 2005 年超过美国并一直居全球第一，2022 年的发电量是 1990 年的近 22 倍，在全国发电总量中的占比已接近三分之一。

其他亚洲国家的可再生能源发电量在近十年间也呈现出快速增长的特点，其中柬埔寨增长超过 8 倍，蒙古增长超过 14 倍。多数亚洲国家的可再生能源发电量占比在 20% 左右。

英国、德国的可再生能源发电量占比分别为 45% 和 46%，美国为 23%。

交 通 运 输

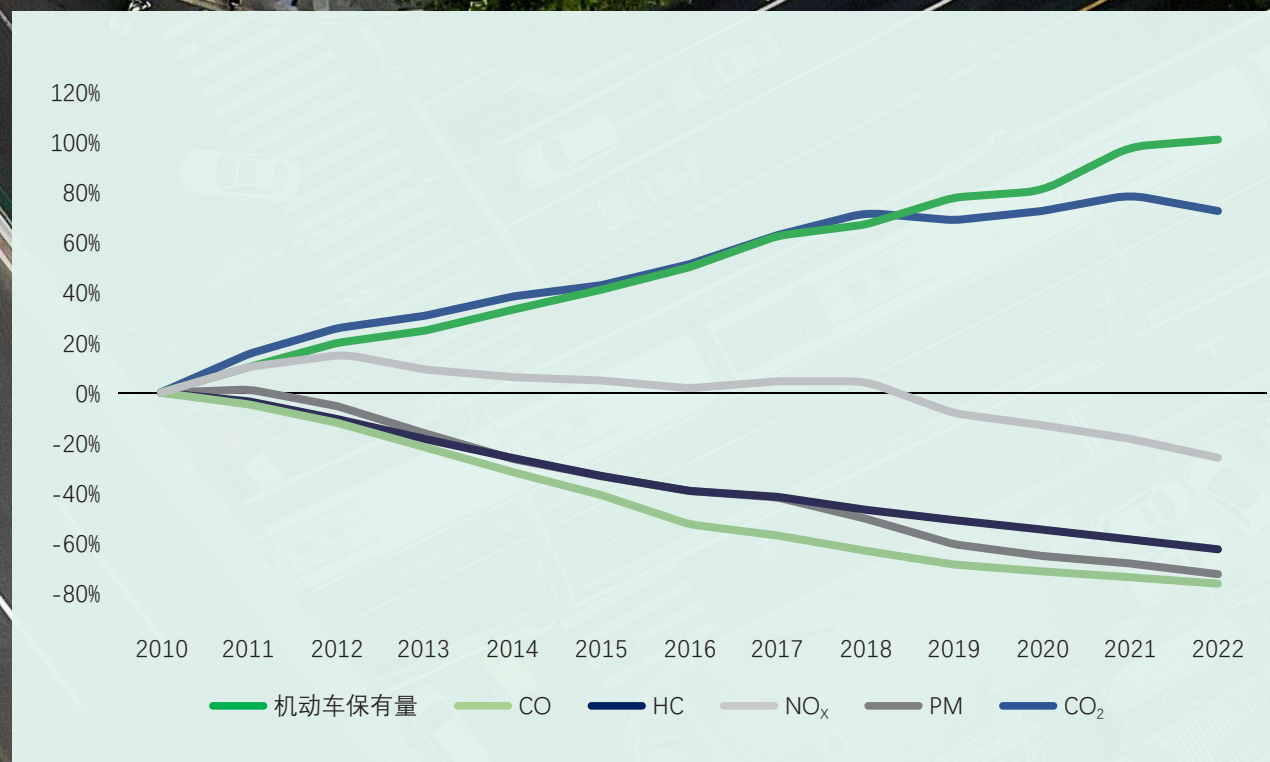


图 5.1 2010–2022 年中国机动车保有量、大气污染物与温室气体排放量变化情况

数据来源：清华大学 EMBEV-China 模型，Wen et al., 2023

中国过去十年采取了众多强有力的减排措施，在交通运输领域的污染物减排取得显著成效。以机动车为例，中国机动车保有量增长已经和大气污染物排放实现了脱钩，2010–2022 年，全国机动车保有量虽然持续增长，但主要污染物 CO、NO_x、HC、PM 减排显著。

近年来，中国积极推进运输结构调整、推广新能源汽车等措施成效凸显，新能源汽车销售市场渗透率已从 2020 年的 5.4% 增至 2023 年的 31.6%。在相关措施推动下，道路交通二氧化碳排放的快速增长趋势开始平稳。

但源解析研究结果表明，交通仍是许多大中城市 PM_{2.5} 的首要来源，占比在 20%–40% 不等；且交通行业是温室气体排放的主要部门，约占全球温室气体排放量的 24%，交通行业绿色低碳转型仍需持续发力。



图 5.2 2013-2023 年各国汽车销量与排名

单位：千辆

注：1. 部分国家缺少 2020–2023 年数据。

2. 除特别说明外，汽车销量主要指乘用车和商用车销量之和。

3. 图中数据不包含对应国家的汽车进口数量。

数据来源：国际汽车制造商协会，中国汽车工业协会，日本汽车工业协会，马来西亚汽车协会，东盟汽车联合会，斯里兰卡交通部，新加坡陆路交通管理局，越南汽车制造商协会

中国、美国、印度、日本和德国是全球前五大汽车市场，自 2020 年以来，中国和美国新车销量总和占全球汽车市场的一半左右。

中国自 2013 年起，便成为全球唯一一个新车销量超 2000 万辆的国家，至 2023 年更是突破 3000 万辆，稳居全球首位。伴随机动车市场需求持续走高，新车增购和在用车使用带来的污染排放控制需求也在加大。



图 5.3 2013-2023 年各国汽车保有量与排名

单位：万辆

注：部分国家缺少 2023 年数据。

数据来源：国际汽车制造商协会，CEIC，中国移动源环境管理年报，日本国土交通省，东盟汽车联合会，韩国国土交通部，斯里兰卡交通部，美国运输统计局，菲律宾交通管理局，孟加拉国道路运输管理局，蒙古国统计局，泰国交通部，新加坡陆路交通管理局，印度尼西亚中央统计局，东盟－日本运输伙伴关系



图 5.4 各国千人汽车保有量

数据来源: 中国汽车工业协会, 日本汽车工业协会, 马来西亚汽车协会, 东盟汽车联合会, 越南汽车制造商协会, 韩国国土－基础设施－交通运输部, 美国运输统计局, 蒙古统计信息服务, World Development Indicators 数据库

中国汽车保有量增长迅速，2013-2023 年间的年均增速达到 10.3%。2020 年，中国汽车保有量超过美国，成为全球汽车保有量最大的国家。2023 年汽车保有量突破 3.3 亿辆，连续四年稳居全球首位。

同期，中国的千人汽车保有量持续提升，从 2010 年的 58 辆 / 千人提高到 2022 年的 225 辆 / 千人，超过全球平均水平。相比之下，欧美、日本等发达国家千人汽车保有量均超过 600 辆，其中，美国千人汽车保有量居世界第一，已达到 820 辆 / 千人。而亚洲国家千人汽车保有量差异较大，东亚国家普遍超过全球平均水平，部分南亚国家与东南亚国家则低于 100 辆 / 千人。



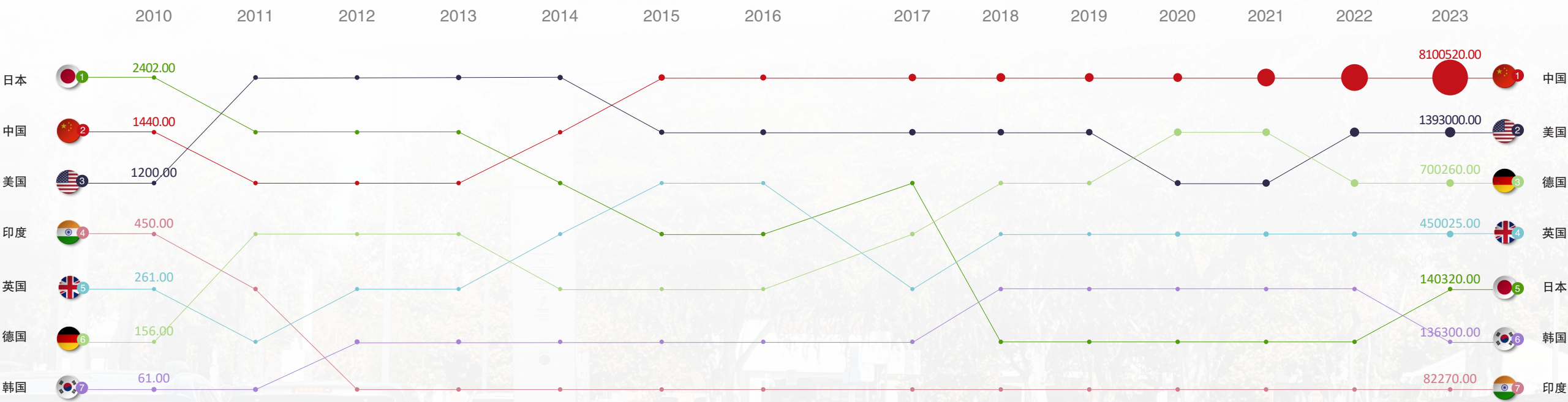


图 5.5 2010-2023 年主要国家新能源乘用车销量与排名

单位：辆
注：新能源汽车指纯电动汽车、插电式混合动力汽车和燃料电池电动汽车。
数据来源：国际能源署数据库

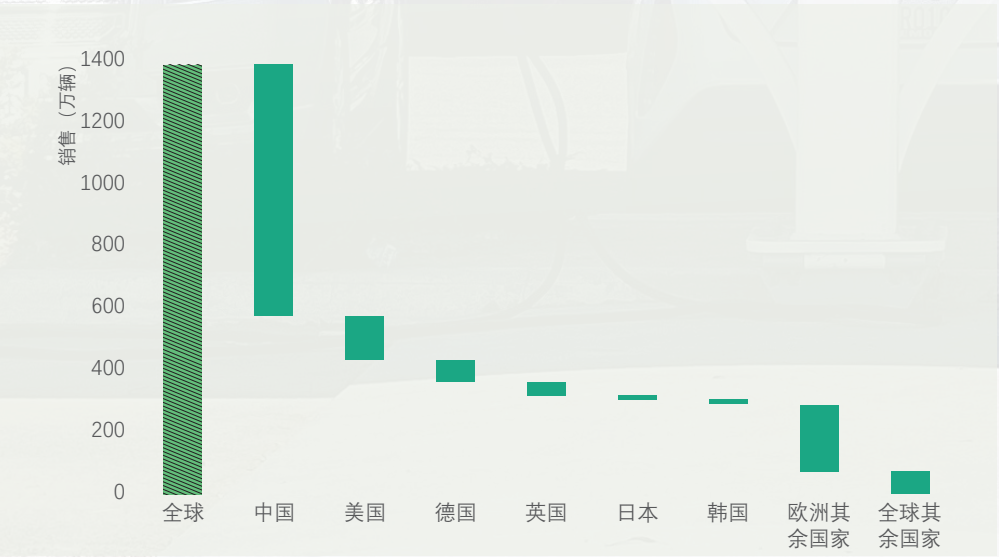


图 5.6 2023 年全球新能源乘用车销量及区域分布

数据来源：国际能源署数据库

在过去十年中，尽管全球乘用车市场经历了诸多波动，新能源乘用车却展现出强劲的增长势头。2013 至 2023 年间，新能源乘用车以 52.6% 的年均增长率，实现了连续增长。

中国在新能源汽车发展上遥遥领先。2013-2023 年间，中国新能源乘用车销量的年均增长率达到 86.7%，高于全球整体增速。至 2023 年，中国在全球新能源乘用车市场中的份额高达 60%，连续 9 年位居全球销量第一。

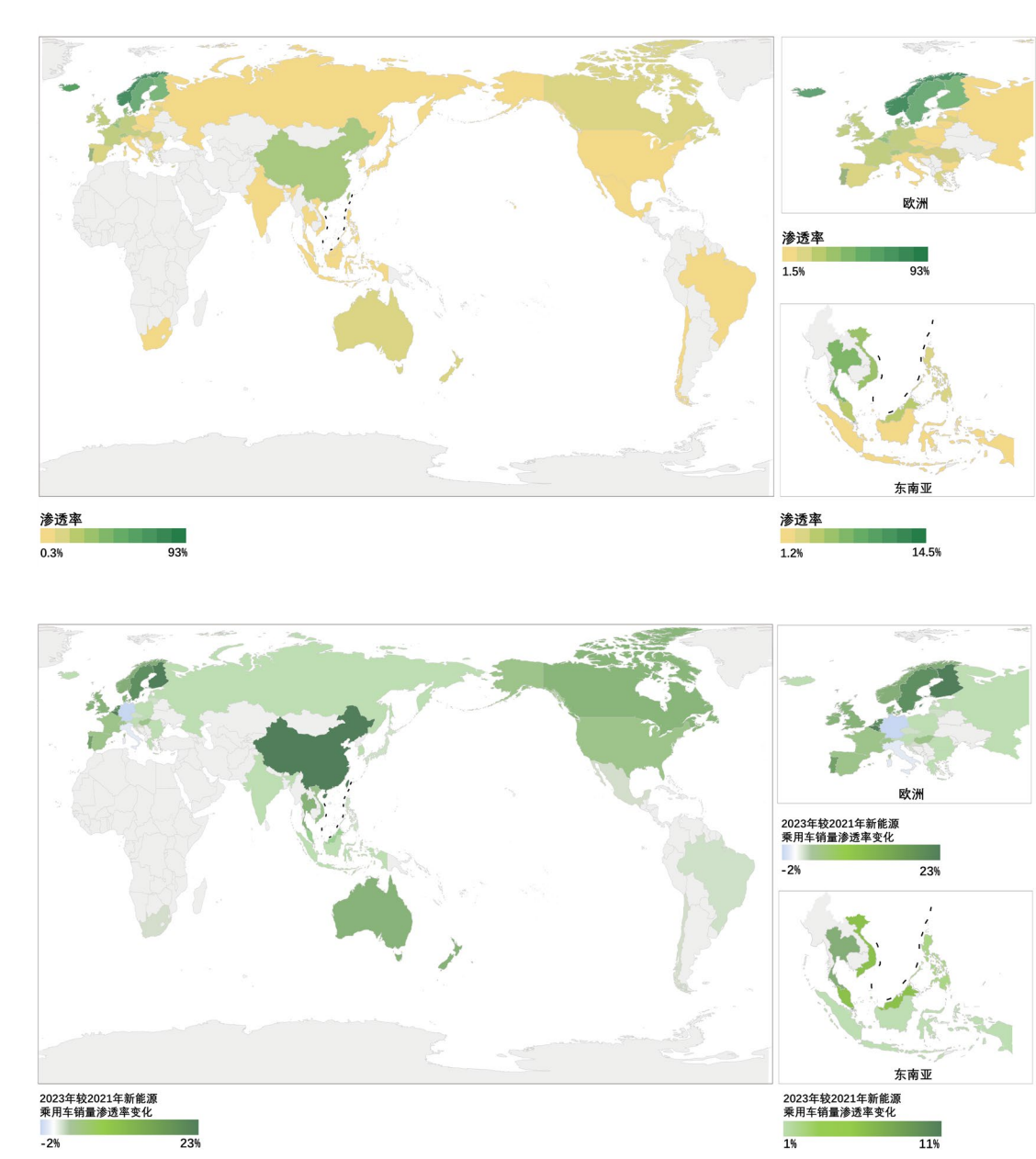


图 5.7 2023 年全球新能源乘用车销量渗透率以及变化情况

注：1. 图中欧洲地区和东南亚地区仅展现有数据的国家。

2. 图中浅灰色代表无数据。

数据来源：国际能源署数据库

2023 年，全球新能源乘用车推广持续蓬勃发展，销量渗透率达到 18%。各国在新能源乘用车推广进度上差异较大，2023 年各国销量渗透率范围在 0.3%-93.0% 不等，当前主要推广阵地集中在中国、欧洲和北美。

中国新能源乘用车市场加速渗透，2022 年提前 3 年完成《新能源汽车产业发展规划》中提出 2025 年 20% 目标，2023 年，销量渗透率已增长至 38%。

目标类型	国家	2025 年	2026 年	2027 年	2030 年	2035 年	2040 年	2050 年
销量	马来西亚				20%		50%	80%
	美国				50%			
	尼泊尔	20% 公共交通			60% 公共交通			
	日本					100% 乘用车	100% 乘用车	
	新加坡				100%			
	印度				30% 乘用车			
	印度尼西亚							100%
	英国					100% 乘用车和厢式货车		
保有量	中国	20% 80%		45%	40%			
	巴基斯坦				30%			
	德国				1500 万辆			
	菲律宾						50%	
	韩国	283 万辆			785 万辆			
	柬埔寨							40%
	蒙古国		2 万					
	孟加拉国							50%
	缅甸	14%			32%		67%	100%
	斯里兰卡	100% 政府用车					100%	
产量	新加坡						100%	
	越南							100%
	泰国				30%			

图 5.8 部分国家新能源汽车推广目标

注：1. 日本电动化推广目标包含油电混合动力车。其中，2040 年 100% 目标还包含了脱碳燃料车，小型商用车指日本的“Kei trucks”。

2. 斯里兰卡 2040 年 100% 目标包含非化石燃料汽车。

3. 菲律宾 2040 年 50% 的目标为该国电动汽车行业综合路线图中的“清洁能源场景”目标，“一般场景”目标为 2040 年新能源汽车占比 10%。

4. 中国 2025 年 80% 的目标为：公共领域车辆全面电动化先行区试点工作中提出，试点领域新增及更新车辆中新能源汽车比例显著提高，其中城市公交、出租、环卫、邮政快递、城市物流配送领域力争达到 80%；十四五现代综合交通运输体系发展规划提出百万人口以上城市（严寒地区除外）新增或更新地面公交、城市物流配送、邮政快递、出租，公务、环卫等车辆中电动车辆比例不低于 80%。

5. 中国汽车工程学会等在《汽车产业绿色低碳发展路线图 1.0》中还设定了 2025 年、2030 年目标，新能源汽车市场渗透率分别达到为 45% 和 60%。

数据来源：详见参考文献

为持续推动汽车低碳转型，中国组织启动了公共领域车辆全面电动化先行区试点工作，首批 15 个城市探索先行，要求试点城市新增及更新的公共领域车辆中新能源汽车比例 2025 年力争达到 80%，助力实现 2035 年公共领域用车全面电动化的目标。

其他多数亚洲国家的新能源汽车推广尚处于起步阶段。2021-2023 年期间，印度、越南、马来西亚、印度尼西亚等国家的新能源乘用车市场开始起步，实现了需求侧的破冰。部分亚洲国家相继提出了中长期的新能源汽车发展目标，例如，新加坡提出 2030 年新能源汽车销量占比实现 100%、2040 年保有量占比实现 100% 的雄伟目标；泰国提出 2030 年电动汽车产量占比达到 30% 的目标等。在交通绿色低碳化的大趋势下，亚洲国家的汽车能源转型未来发展前景广阔。

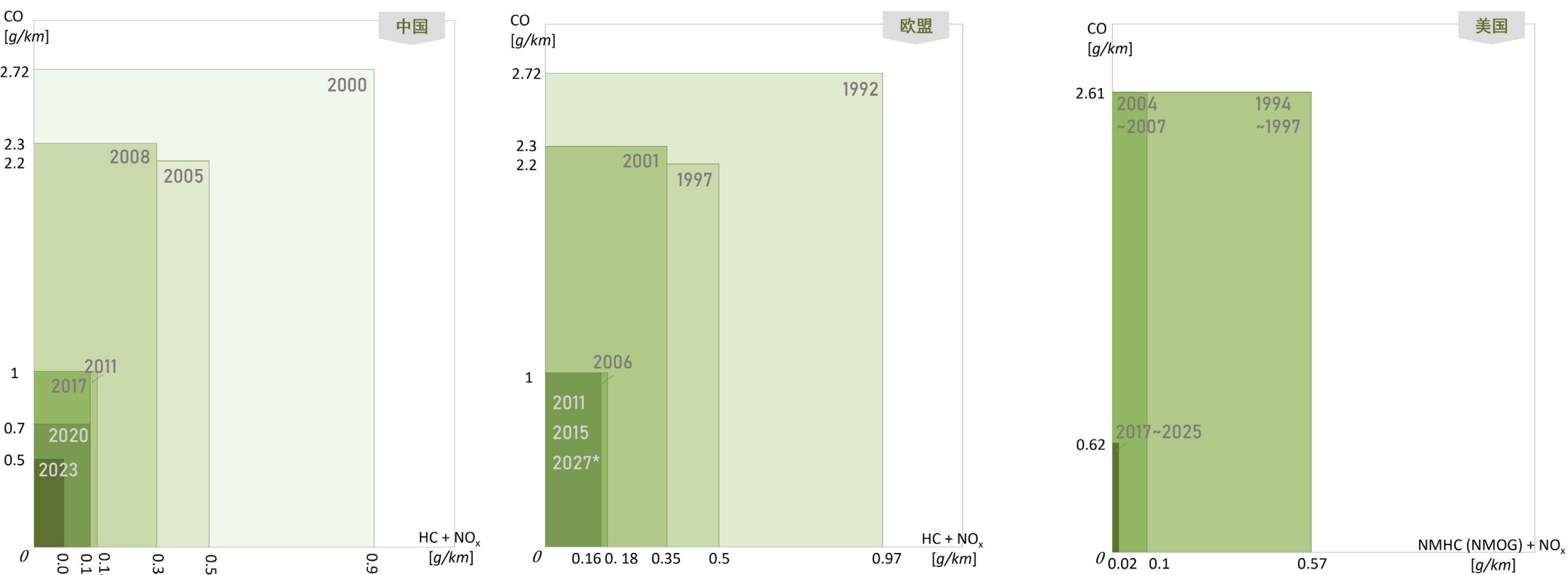


图 5.9 中、欧、美轻型车排放限值演变历程（以汽油乘用车为例）

注：1. 由于不同法规体系测试工况不同，各国限值数值不宜直接比较；日本不同阶段的法规测试工况变化较大，因此报告未呈现日本排放限值演变历程。

2. 实施时间选择上，中国为符合新标准汽车的销售、注册登记执行日期；欧盟为符合新标准汽车的注册登记执行日期；美国根据车型年逐步加严车队平均排放，图中以阴影表示新阶段标准的推进起始年份和完全实施年份。

3. 美国轻型车排放标准说明：轻型车测试工况包括 FTP-75 循环和 5FTP 循环，本报告仅展示 FTP-75 限值；美国对汽车中期寿命和全寿命的排放情况进行控制，图中选用全寿命限值；美国轻型车 Tier2 排放标准提出了车队平均 NO_x 限值，Tier3 排放标准提出了车队平均 NMOG+NO_x 限值，图中展示单车需满足的排放限值之一，其中 Tier2 使用 Bin5 限值（相当于车队 NO_x 需达到的平均水平），Tier3 使用 Bin30 限值（NMOG+NO_x 限值相当于车队 2025 年需要到的平均水平）；美国轻型车限值单位为 g/mile，本报告中按照 1 英里 (mile)=1.61 千米 (km) 进行转换。

4. 日本 2009 年实施的后新长期规定和 2018 年实施的未来规定中汽油乘用车的限值没有变化。

5. 欧洲的汽油乘用车排放标准：欧五、欧六、和将来将实施的欧 7 中，对于 CO 和 HC+NO_x 的限值没有变化。

数据来源：详见参考文献

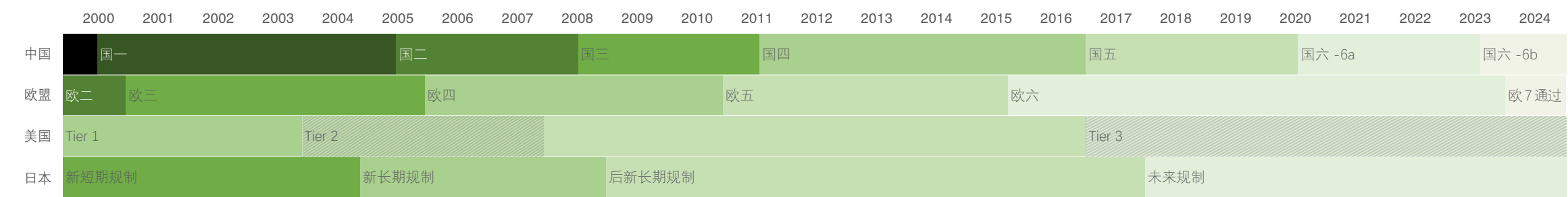


图 5.10 中、欧、美、日轻型车排放标准升级时间轴（以汽油乘用车为例）

中国在轻型汽车排放控制上已达到全球领先水平。相比欧美和日本，中国在机动车排放控制上起步较晚，轻型车相同水平限值的实施时间较欧盟滞后 5-8 年，但过去十年中国标准升级速度快。2023 年 7 月 1 日，国六排放标准 6b 阶段（后简称“国六 b”）正式实施，国六 b 较国一阶段相比，CO 限值加严 82%，HC+NO_x 限值加严 91%。

欧美仍在加强轻型车的排放管控，预计 2027 年，欧 7 标准正式实施，轻型车的尾气排放限值与欧 6 标准相同，但将 PN 的计入阈值加严到了直径 10 纳米，新增了制动系统的颗粒物排放限值，并提高了使用寿命周期的耐久性要求。在减污降碳新形势下，中国和其他亚洲国家也面临着继续提高机动车排放标准、增加温室气体排放控制的需求。目前，中国在《减污降碳协同增效实施方案》《中共中央 国务院关于全面推进美丽中国建设的意见》等政策中，已明确提出研究制定下一阶段机动车排放标准，推动污染物与温室气体排放协同控制。

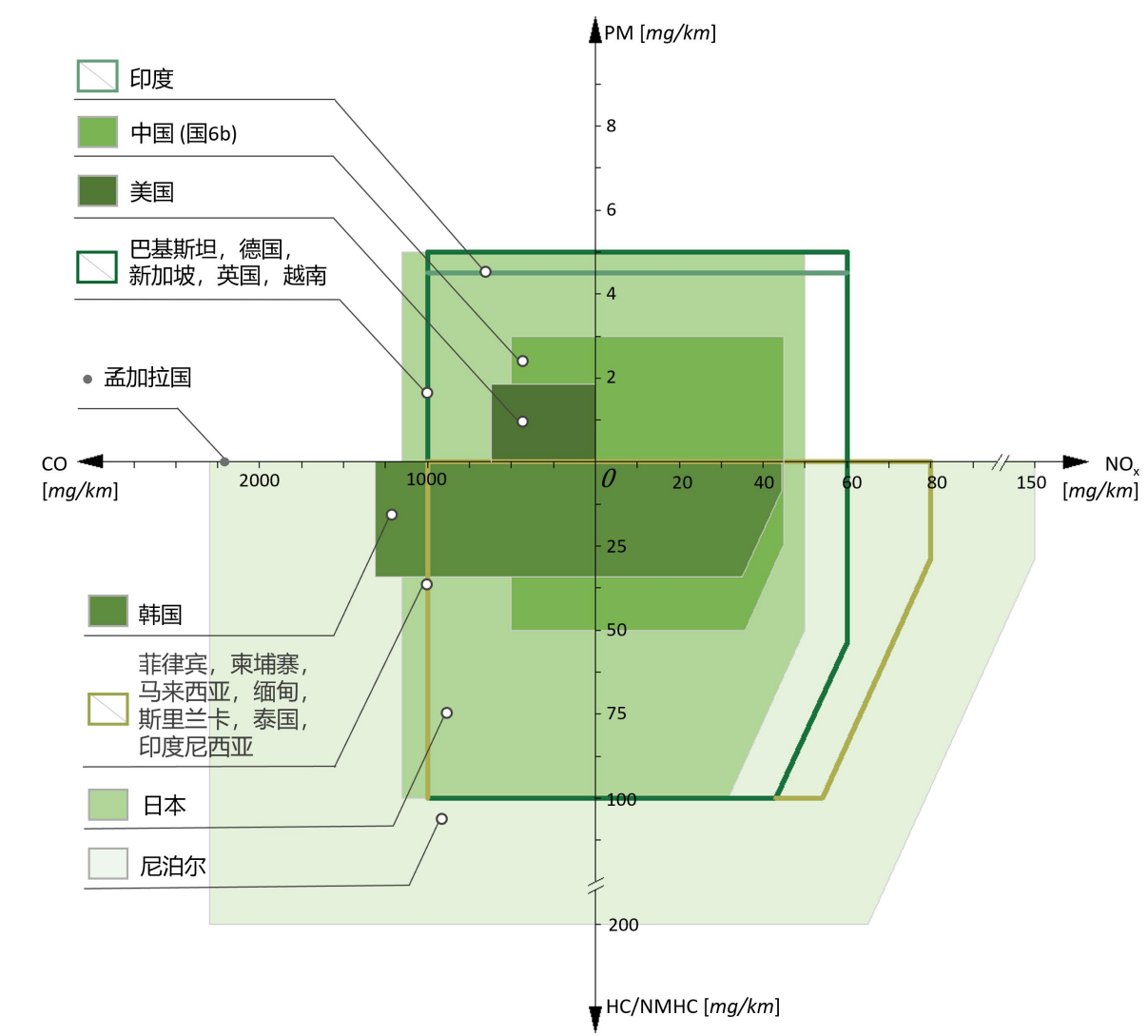


图 5.11 部分国家 / 地区轻型车现行排放限值（以汽油乘用车为例）

注：1. 由于不同法规体系测试工况不同，各国限值数值不宜直接比较。
2. 现行标准中，轻型汽油乘用车执行欧四及以前标准的国家没有PM限值，包括孟加拉国、泰国、柬埔寨、印度尼西亚、缅甸、菲律宾、尼泊尔、斯里兰卡、马来西亚，其中孟加拉国HC+NO_x的限值为500mg/km。
3. 图中美国限值选用Bin30单车限值，其NMOG+NO_x限值相当于车队2025年需达到的平均水平。
4. 图中韩国限值选用Standard 2B限值。
5. 新加坡和斯里兰卡现行机动车排放标准，要求本国进口、组装或生产的车辆排放法规满足欧洲或日本排放法规二者之一。

数据来源：详见参考文献

中国自2023年7月实施国六b标准，在新车限值、蒸发排放控制上较欧六更为严格，轻型车排放法规处于全球最严行列。此前，中国轻型车从国一到国五阶段主要跟随欧盟排放法规体系，现行国六标准则考虑中国实际需求，形成自主的技术标准体系。

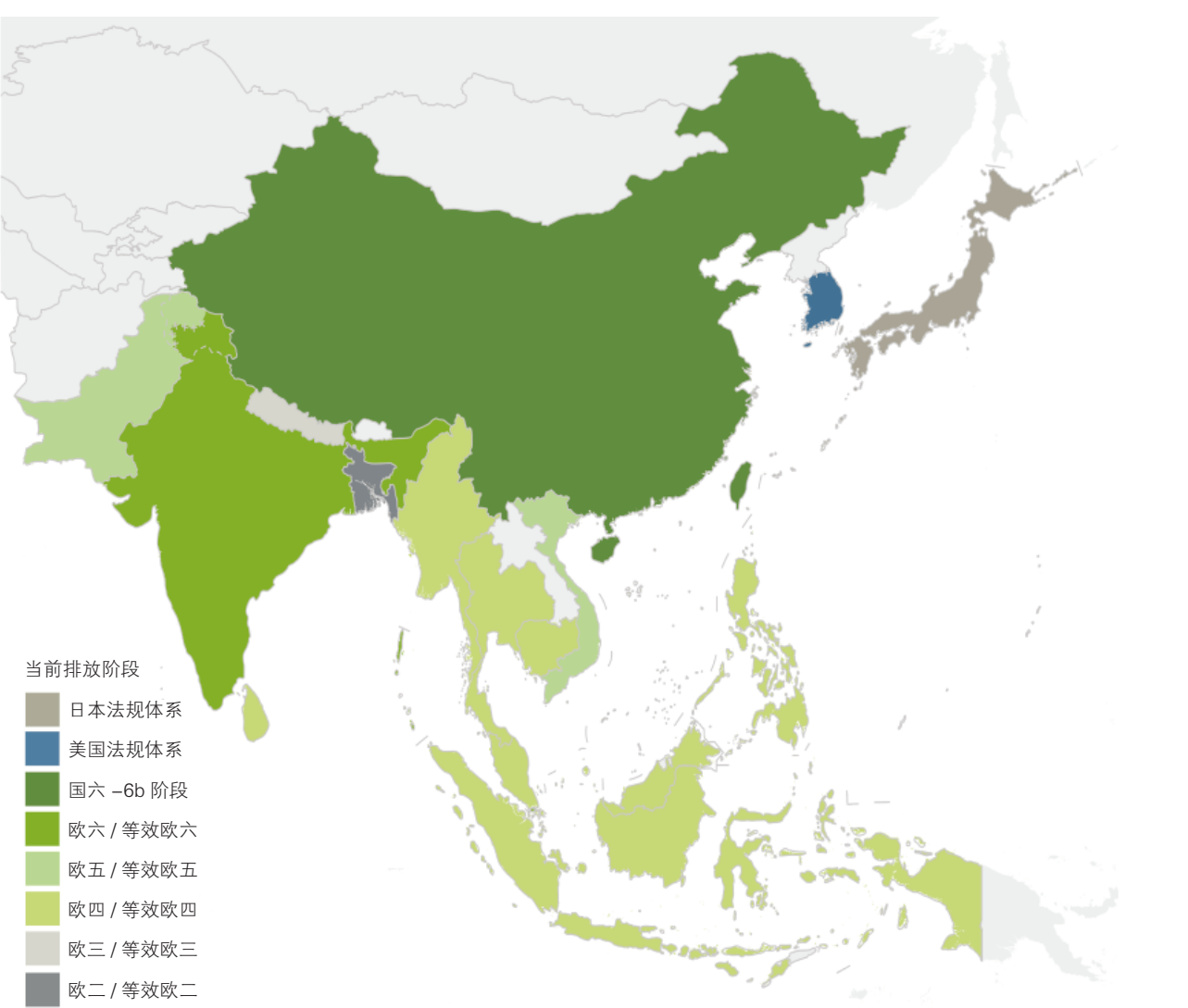


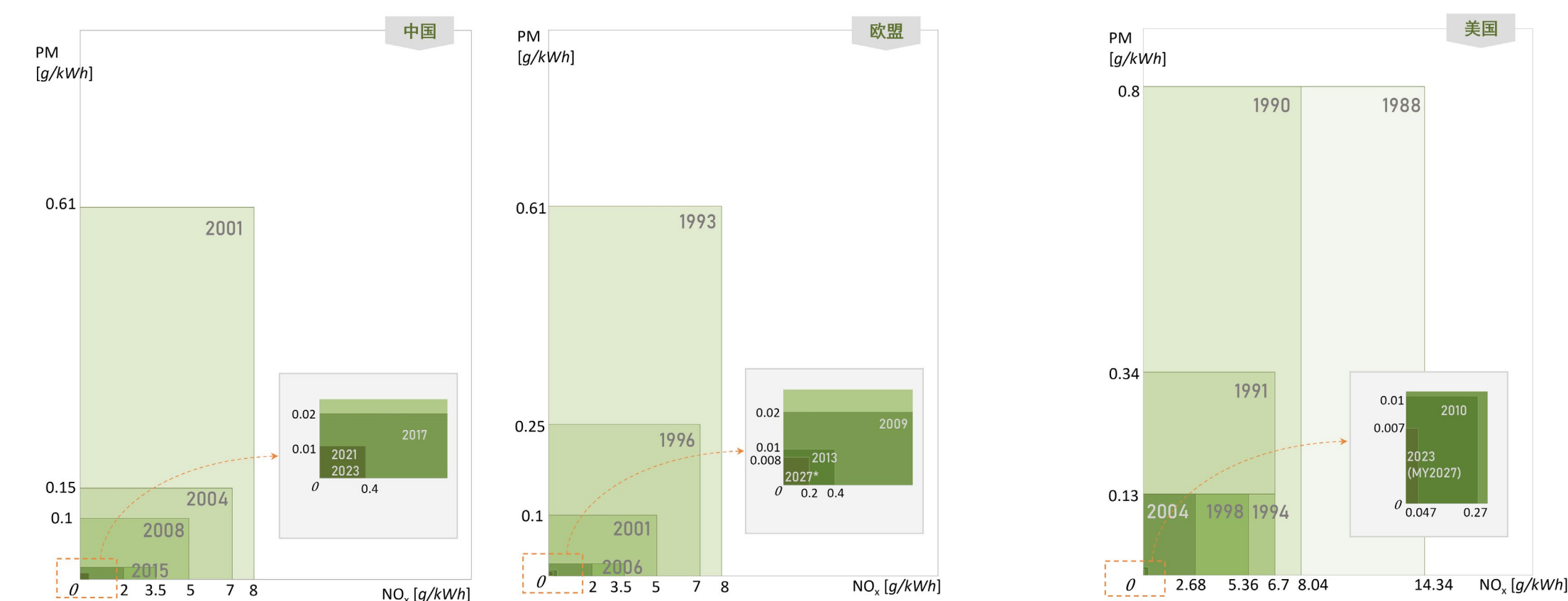
图 5.12 亚洲国家参考的排放法规体系及现行排放阶段（以汽油乘用车为例）

注：1. 部分国家如印度、泰国等参考欧盟法规体系制定本国排放标准，由于限值与欧盟不同阶段限值一致，本图呈现该国标准等效的欧洲法规排放阶段。
2. 图中浅灰色代表无数据。

数据来源：详见参考文献

欧盟、美国和日本的汽车排放法规是全球三大法规体系。大多数亚洲国家跟随欧盟法规体系，但各国现行排放阶段差异较大。亚洲国家中，中国、韩国、日本、印度、新加坡轻型车排放标准更为领先，已经率先实施欧六（或等效欧六，下同）或更严的标准，而孟加拉国、尼泊尔仍实施欧二、欧三，其他大部分亚洲国家实施欧四。

近些年，一些亚洲国家已经跨越式进阶到更严格的排放限值，如印度从欧四跨越到欧六，尼泊尔从欧一跨越到欧三、印度尼西亚从欧二跨越到欧四。



注：1. 由于不同法规体系测试工况不同，各国限值数值不宜直接比较。日本不同阶段的法规测试工况变化较大，因此未呈现日本排放限值演变历程。

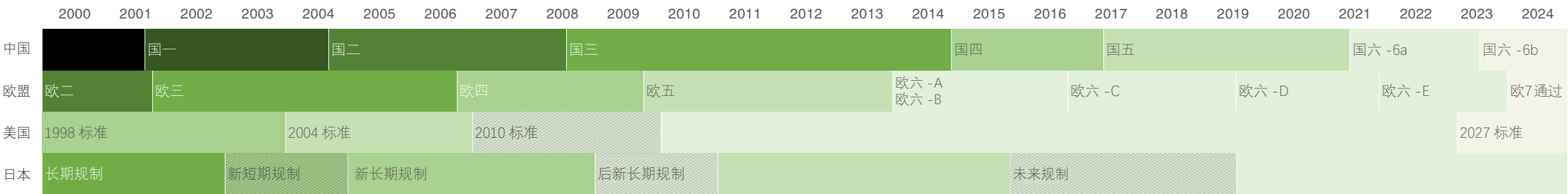
2. 图中美国数据为 FTP 瞬态工况限值，中国和欧盟为稳态工况限值。

3. 美国重型车指车辆总重量等级 (GVWR) 在 8500lbs(约 3.85 吨) 以上的车辆，进一步细分为轻重型、中重型和重重型。中国、欧盟日本重型车指 GVW 在 3.5 吨以上的车辆。

4. 实施时间选择上，中国为符合新标准汽车的销售和注册登记执行日期；欧盟为符合新标准汽车的注册登记执行日期，欧六排放标准在车载道路试验和 OBD 的要求上分 A-E 五个阶段逐步推进，其中欧六 -E 新增了冷启动排放要求和颗粒物数量要求，在图中标注了不同阶段推进时间；日本重型车的部分阶段排放标准根据总质量 / 车辆类型逐步推进，在图中以阴影表示逐步推进年份；美国 2010 年标准计划在 2007 年车型年 -2010 年车型年按销售比例逐步实施，实际执行中，2007-2009 年车型年的发动机 NO_x 平均值允许为 1.6g/kWh，在图中以阴影标注。

5.2023 年 3 月，美国 Control of Air Pollution From New Motor Vehicles: Heavy-Duty Engine and Vehicle Standards 法规生效，对 2027 车型年的车辆更新排放限值。

数据来源：详见参考文献



中国在重型车排放控制上虽起步较晚，但升级速度快。过去十年，中国重型车排放标准经历了三次升级，现行的国六标准 NO_x 和 PM 限值较国五加严幅度分别达到 80% 和 50%。

当前，欧美均已出台新一阶段的重型车排放标准法规，提出了更为严格的污染物排放限值。其中，重型车欧七标准的 NO_x 和 PM 实验室排放限值较欧六标准分别加严 50% 和 20%，并且新增了氨和氧化亚氮的

排放限值。美国清洁卡车计划对于 2027 年车型的排放限值也更为严格，NO_x 和 PM 排放限值较联邦法规最新标准的限值分别加严近 83% 和 33%。

重型车是中国交通运输行业减污降碳的关键。与其他亚洲国家一样，中国亟待进一步强化重型车的中长期减排法规和战略，推动重型车迈向超低排放及零排放。

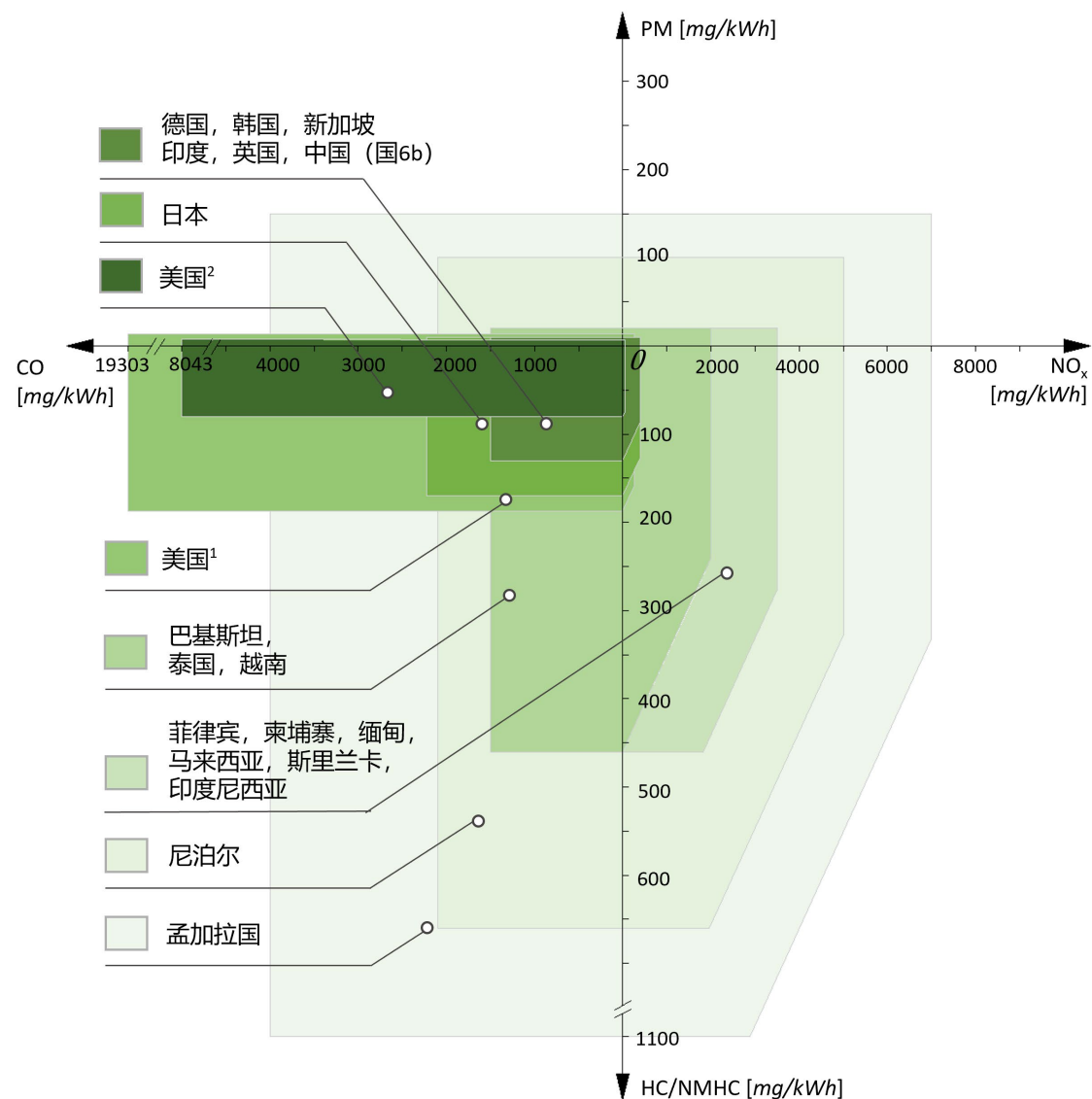


图 5.15 部分国家 / 地区重型车现行排放限值（以重型柴油车稳态工况法限值为例）

注：1. 由于不同法规体系测试工况不同，各国限值数值不宜直接比较。
2. 美国限值原始单位为 g/bhp · h，根据 0.746g/bhp · h=1g/kWh 进行转换。
数据来源：详见参考文献

中国重型车排放法规结合了欧盟和美国排放法规中的先进之处，在技术标准和合规监管上均大幅加严，创新性的提出了远程排放监控的要求。

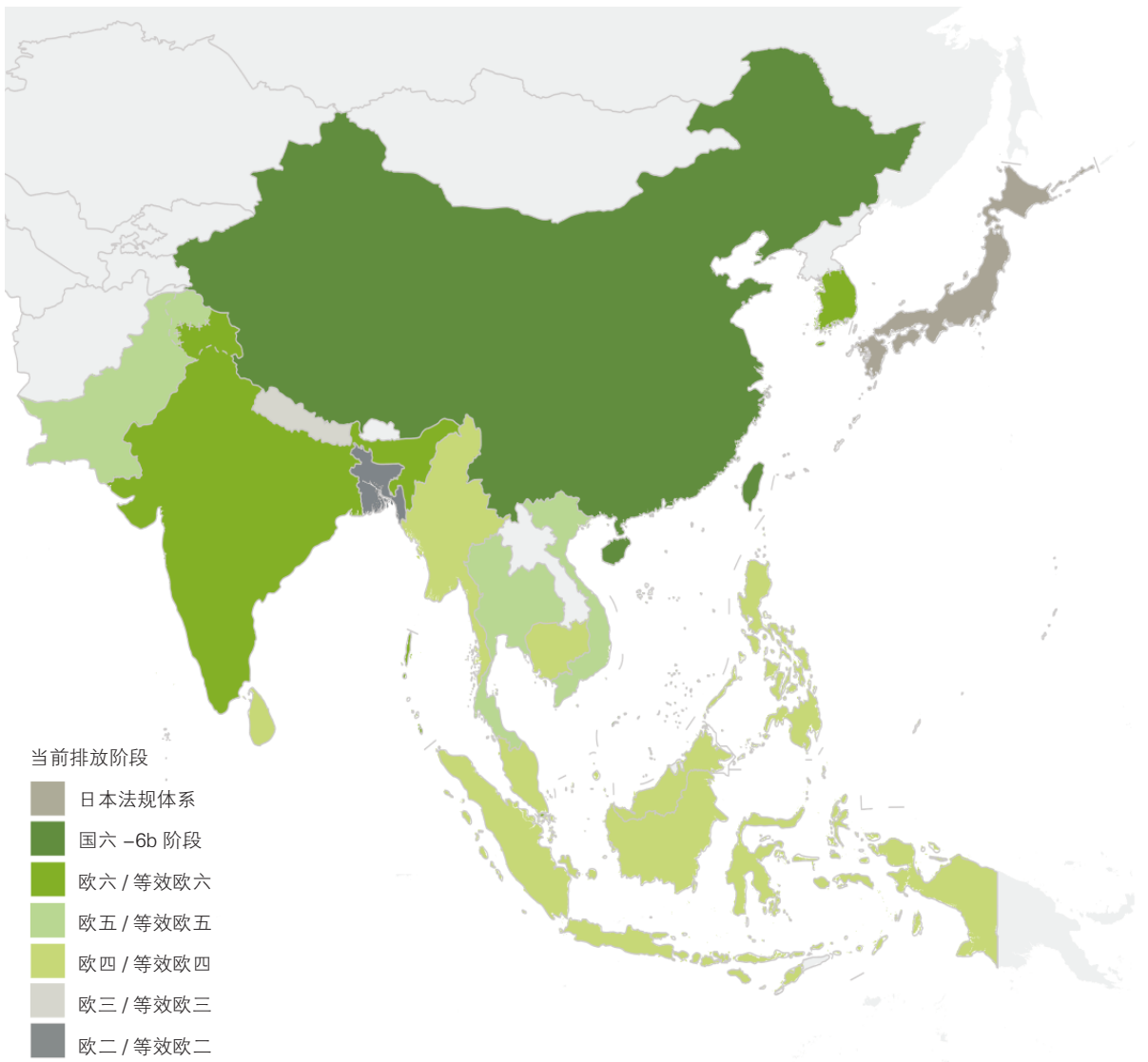


图 5.16 亚洲国家参考的排放法规体系及现行排放阶段（以重型柴油车为例）

注：1. 部分国家如印度、泰国等参考欧盟法规体系制定本国排放标准，由于限值与欧盟不同阶段限值一致，本图呈现该国标准等效的欧洲法规排放阶段。
2. 图中浅灰色代表无数据。
数据来源：详见参考文献

大多数亚洲国家跟随欧盟法规体系，各国现行排放阶段差异较大。其中，中国、韩国、日本、印度、新加坡重型车排放标准最为严格，已经率先实施欧六（或等效欧六，下同）或更严的标准，而孟加拉国、尼泊尔仍实施欧二、欧三。

近些年，一些亚洲国家已经跨越式实施更严格的排放限值，如印度从欧四跨越到欧六，泰国于 2024 年从欧三升级到了欧五标准。

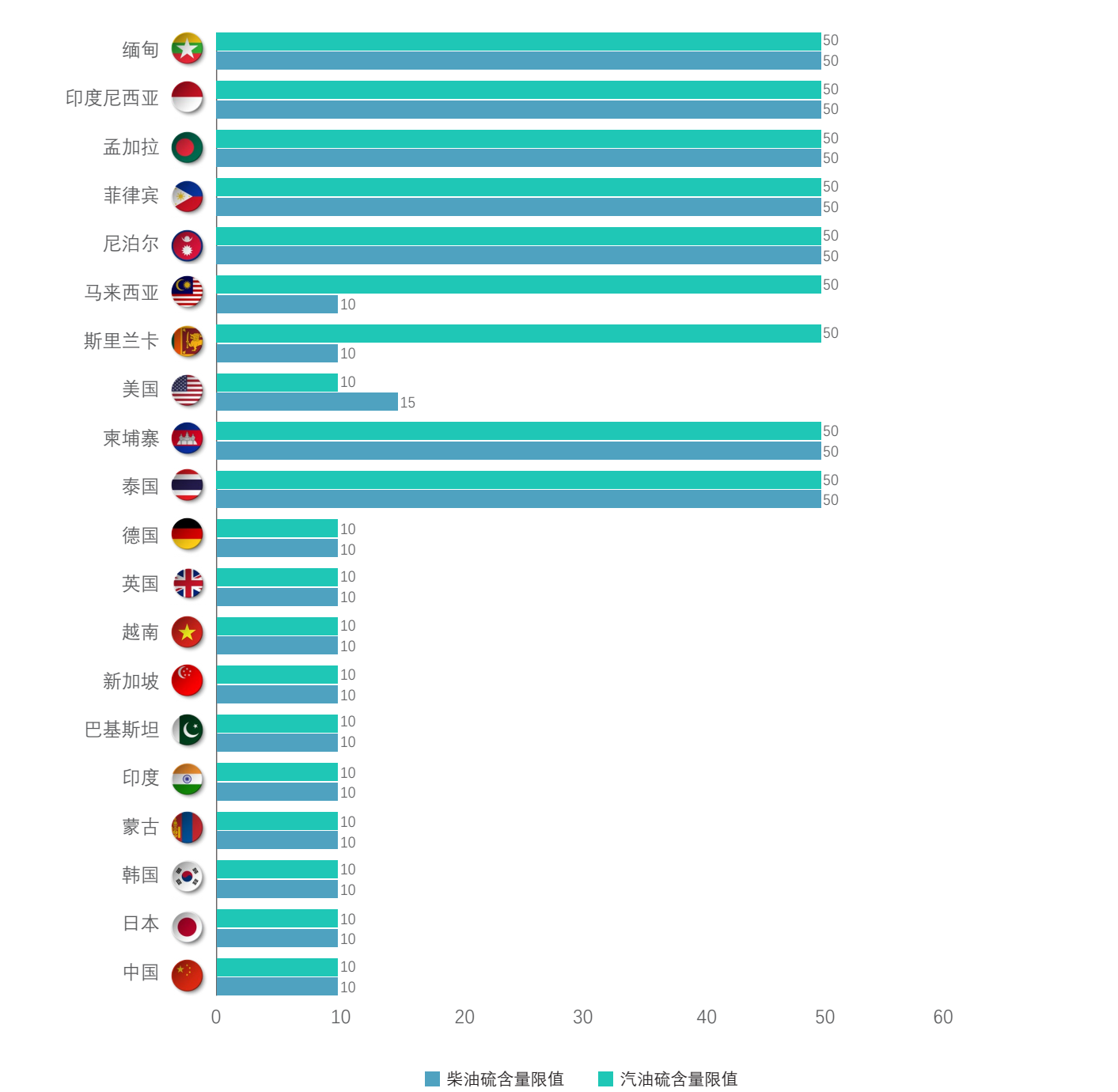


图 5.17 各国现行车用汽油和车用柴油硫含量

单位：ppm

注：1. 孟加拉国汽油硫含量分为常规等级和优选等级，本报告选取适用于高端车型和轻型车的优选等级；柴油硫含量分为达卡、吉大港和全国其他地区分别推进，本报告选取全国其他地区的柴油硫含量，而达卡和吉大港柴油硫含量为 350ppm。

2. 斯里兰卡汽油标准根据辛烷值分为两种，2018 年 7 月更新的 95 辛烷值汽油硫含量为 50ppm，2015 年 3 月更新的 92 辛烷值汽油硫含量为 300ppm；柴油标准分为两种，2018 年 7 月更新的超级柴油 (superdiesel) 硫含量为 10ppm，2015 年 5 月更新的常规柴油 (autodiesel) 硫含量为 3000ppm。

3. 图中印度尼西亚为 CN48 汽油、RON90 柴油的燃油硫含量。

4. 马来西亚将在 2025 年 9 月 1 日对汽油实施欧五标准。

数据来源：详见参考文献

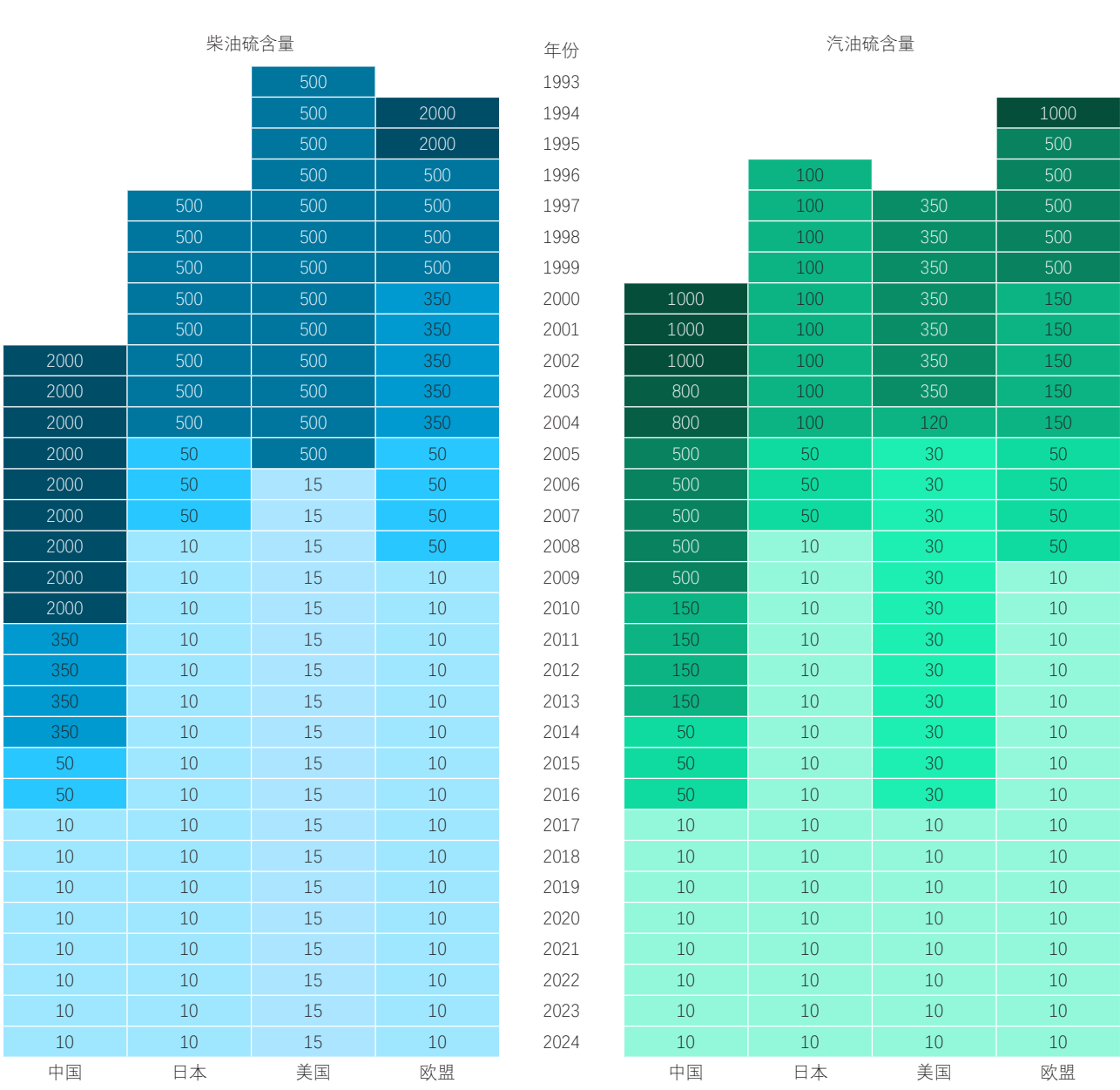


图 5.18 中、日、美、欧车用燃油硫含量限值加严历程

单位：ppm

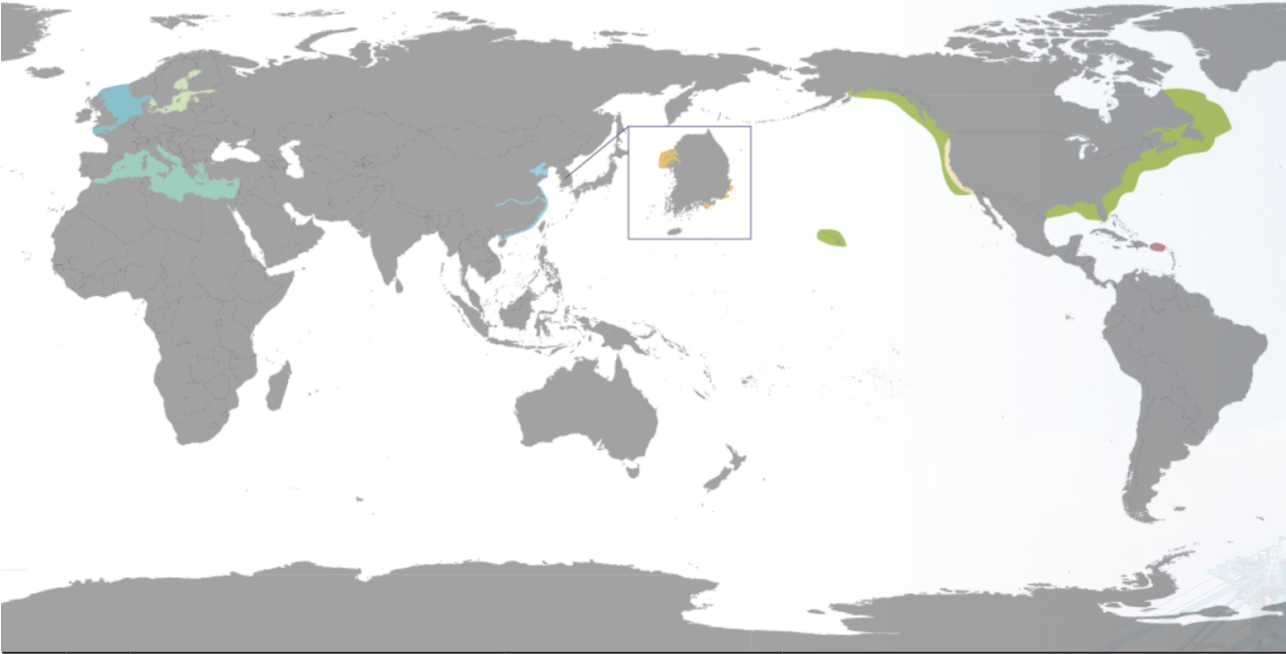
注：1. 中国 GB/T19147-2003 提出柴油硫含量限值 500ppm，该标准为推荐性标准，报告未对其进行呈现。

2. 美国汽油硫含量限值采用大型炼油厂 / 进口商平均（refinery average）值；2004 年使用企业平均（corporate average）值。

数据来源：详见参考文献

近年来，中国燃油低硫化进程迅速，在 2017 年柴油和汽油硫含量限值均降低到 10ppm，达到全球领先水平。

目前亚洲国家燃油标准均已达到欧四及以上阶段，基本与本国机动车排放阶段配套衔接。2022 年以来，一些亚洲国家开始跨越式实施更严格的燃油标准，其中孟加拉国、缅甸和印度尼西亚的燃油标准已从欧二升级到欧四阶段，泰国和柬埔寨从欧四过渡到了欧五。



序号	名称	设立机构	SO _x 控制生效时间	NO _x 控制生效时间
1	北美排放控制区	IMO	2012.8.1	2016.1.1
2	美国加勒比海排放控制区	IMO	2014.1.1	2016.1.1
3	波罗的海排放控制区	IMO	2006.5.19	2021.1.1
4	北海排放控制区	IMO	2007.11.22	2021.1.1
5	地中海排放控制区	IMO	2025.5.1	——
6	加州排放控制区	加州空气资源委员会	2009.7.1	——
7	中国船舶大气污染排放控制区	中国交通运输部	2016.1.1/2019.1.1	2022.1.1
8	韩国船舶硫氧化物排放控制区	韩国海洋水产部	2020.9.1/2022.1.1	——

图 5.19 船舶排放控制区示意图

- 注：1. 在生效时间后建造或重大改造且在 IMO 设立排放控制区航行的船舶柴油发动机，符合 IMO Tier III 氮氧化物排放标准。
2. 加州排放控制区包括加州领海基线外 24 海里内的水域。
3. 中国自 2016 年 1 月 1 日起在珠三角、长三角、环渤海（京津冀）水域设立船舶排放控制区；2019 年 1 月 1 日起扩大船舶大气排放控制区范围，其中沿海控制区包括中国大陆已公布的领海基线外 12 海里内所有海域，内河控制区包括长江干线和西江干线的通航水域。
4. 中国排放控制区关于 IMO-Tier III 阶段 NO_x 限值要求，适用于进入沿海控制区海南水域和内河控制区中国籍国内航行船舶所使用的单缸排量大于或等于 30 升的船用柴油发动机。
5. 韩国自 2020 年 9 月 1 日设立船舶硫氧化物排放控制区，包括仁川港、丽水－阳光港、平泽－唐津港、釜山港和蔚山港附近海域。SO_x 控制要求 2020 年 9 月 1 日起适用于韩国船舶排放控制区港口停泊的船舶，2022 年 1 月 1 日起适用于进入韩国船舶排放控制区的船舶。

数据来源：详见参考文献

国际远洋航行船舶的大气污染物排放控制统一执行国际海事组织 (IMO) 要求，各国可以向 IMO 申请设立国际排放控制区，在控制区内实施严于全球的船舶大气污染物排放控制要求。目前，IMO 已经先后批准五个国际排放控制区，且其中四个排放控制区均已生效，实施更严格的燃油硫含量限值和发动机排放阶段。

亚洲尚无 IMO 设立的国际排放控制区，中国和韩国通过当地法规设置国内排放控制区，对进入该区域的船舶提出更严格的硫含量限值要求，从而控制船舶硫氧化物和颗粒物排放。

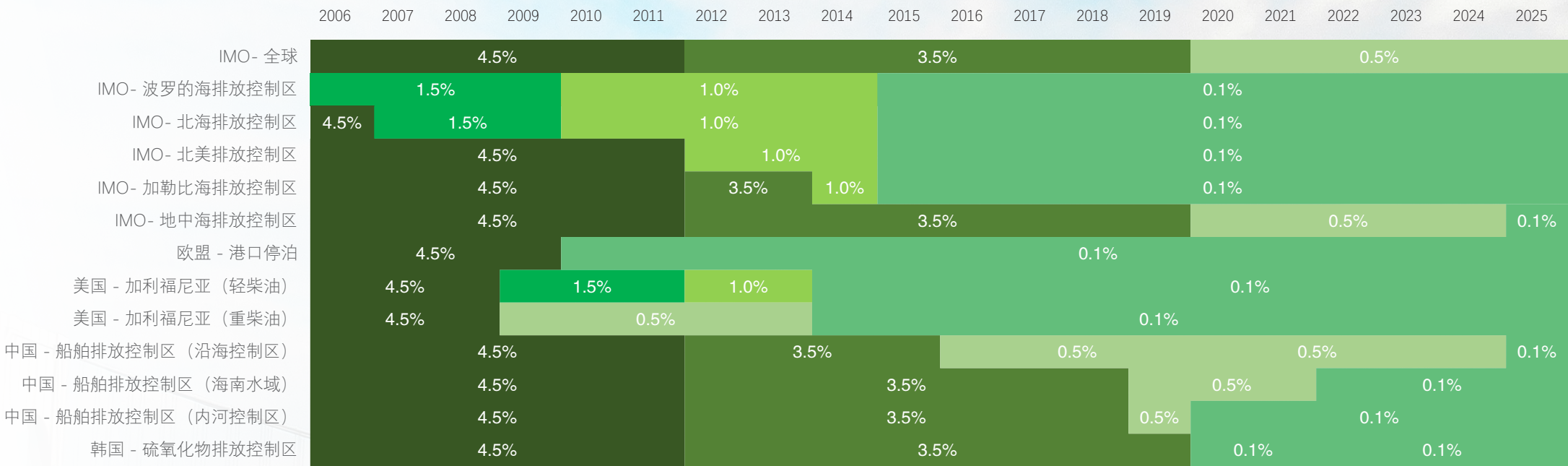


图 5.20 远洋船舶燃油硫含量升级历程

注：1.MEPC78 会议批准了指定地中海水域为 SO_x 和 PM 排放控制区的 MARPOL 附则 VI 修正案草案，将于 2025 年 5 月 1 日实施。

2. 欧盟要求停靠欧盟港口的船舶在停靠期间使用硫含量≤ 0.1%_{m/m} 的船用燃油，但停靠期间使用岸电、关闭发动机或停泊时间小于两小时的船舶不适用。此外，欧盟要求定班客轮在 2020 年 1 月前在欧盟领海、专属经济区等（除北海和波罗的海排放控制区）使用硫含量≤ 1.5%_{m/m} 的船用燃油。

3. 中国自 2016 年起在珠三角、长三角、环渤海（京津冀）水域船舶排放控制区。分阶段推进船舶停靠期间使用硫含量≤ 0.5%_{m/m} 的船用燃油；2019 年中国船舶排放控制区升级，扩展至全国沿海 12 海里以内水域以及长江和西江干线，全面实施 0.5%_{m/m} 的船用燃油硫含量限值要求。

4. 海船进入中国船舶大气排放控制区实施 0.1%_{m/m} 的船用燃油硫含量限值要求，按控制区类型的实施时间如下：2020.1.1—内河控制区、2022.1.1—沿海控制区海南水域、2025.1.1—沿海控制区（需评估可行性）。

5. 船舶进入韩国硫氧化物排放控制区实施 0.1%_{m/m} 的船用燃油硫含量限值要求，按控制区类型的实施时间如下：2020.9.1—港口停泊，2022.1.1—硫氧化物排放控制区。

数据来源：详见参考文献

2020 年，全球针对远洋航行船舶开始实施“限硫令”，其燃油硫含量最高限值从 3.5%_{m/m} 加严到 0.5%_{m/m}。

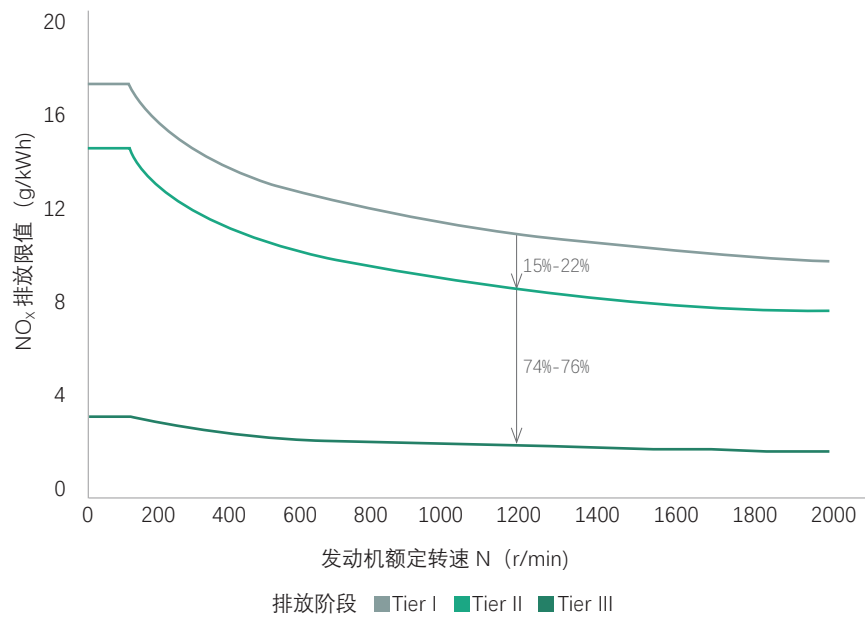
中国通过设置和升级国内船舶排放控制区，分阶段逐步推进远洋和沿海航行船舶在靠泊期间、排放控制区内航行期间使用硫含量 0.5%_{m/m} 的燃油。此外，中国从 2018 年起要求内河船舶使用硫含量 0.001%_{m/m} 柴油，成为内河航运硫含量管控最严的国家之一。

相比欧美地区，进入中国专属经济区航行的远洋和沿海船舶的硫含量要求并非全球最严。欧美地区已经设立了四个 IMO 批准的国际排放控制区，船舶进入国际排放控制区 200 海里内需符合全球最严 0.1%_{m/m} 的燃油硫含量限值，且加州和欧盟通过设置区域排放控制区，要求船舶在 24 海里（加州）或港口停泊期间（欧盟）满足 0.1%_{m/m} 的燃油硫含量限值。



注：1.IMO 氮氧化物排放控制要求适用于输出功率超过 130kW 的船用柴油机。
2. 在实施日期后建造或重大改造的船舶柴油发动机，需满足对应的 NO_x 排放阶段。

数据来源：IMO，SpecialAreas under MARPOL

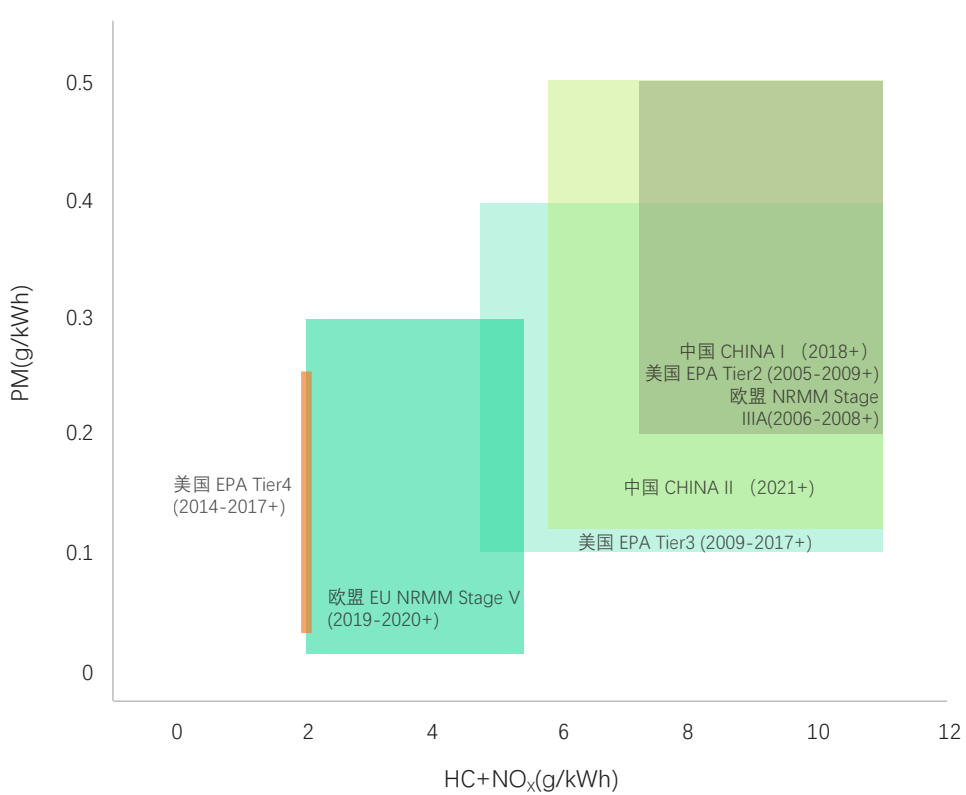


数据来源：MARPOL Annex VI: Prevention of air pollution by ships—Regulation 13

国际远洋航行船舶的发动机排放控制统一执行 IMO 要求，各国可以向 IMO 申请设立国际 NO_x 排放控制区，要求进入该区域的远洋船舶满足更严格的发动机排放阶段。

目前，中国尚未申请设立国际 NO_x 排放控制区，且根据《联合国海洋公约法》，中国现行的国内船舶排放控制区不能对外国籍远洋船舶的发动机排放控制提出更高要求。因此，进入中国 200 海里内航行的外国籍远洋船舶，只需符合 IMO 的 Tier II。

全球已有 4 个 IMO 批准的国际 NO_x 排放控制区实施 Tier III，其 NO_x 限值较 Tier II 加严了 74%-76% 不等，这 4 个排放控制区集中在欧美地区。



注：1. 图中色块边界代表各组限值的最小值和最大值，各国 / 地区的排放标准根据发动机用途、单缸排量、功率等划分为多组限值。
2. 标注实施时间为发动机型式认证年份。
3. 欧盟对内河船用发动机的排放限值主要包括两个阶段：Stage III -A 和 Stage V。前者主要适用功率 37kW 及以上的内河船机，后者适用 19kW 及以上的内河船机。
4. 本图中中国的标准适用于 GB15097 规定的第 1、2 类船机，即额定功率大于或等于 37kW 并且单缸排量小于 5L 的船机，及单缸排量大于或等于 5L 且小于 30L 的船机。
5. 本图中美国的标准适用于 40 CFR 1042 规定的第 1、2 类船机，主要包括单缸排量小于 30L 的船机，其中 Tier 2 阶段标准不适用于 37kW 功率以下船机。

数据来源：详见参考文献

国内航行船舶的大气污染物排放标准由各国自行制定，中国在该项工作上的起步晚于欧美十年左右。

2016 年，中国首次发布了船舶大气污染物排放标准，但与欧美相比仍有一定差距。2018 年 7 月实施的第一阶段排放限值，和欧盟 Stage III -A、美国 Tier 2 限值一致，相当于我国重型柴油车发动机第二阶段排放控制水平。2021 年 7 月升级实施的第二阶段排放限值，与美国 Tier 3 限值相当，但距离欧美现行限值仍有较大差距。

在污染物管控上，欧盟、美国和中国标准都覆盖了 CO、NO_x、PM 和 HC。而欧盟在 Stage V 中对船用柴油机增加了颗粒物数量（PN）的要求，对颗粒物排放控制更为精准化。

重点工业行业

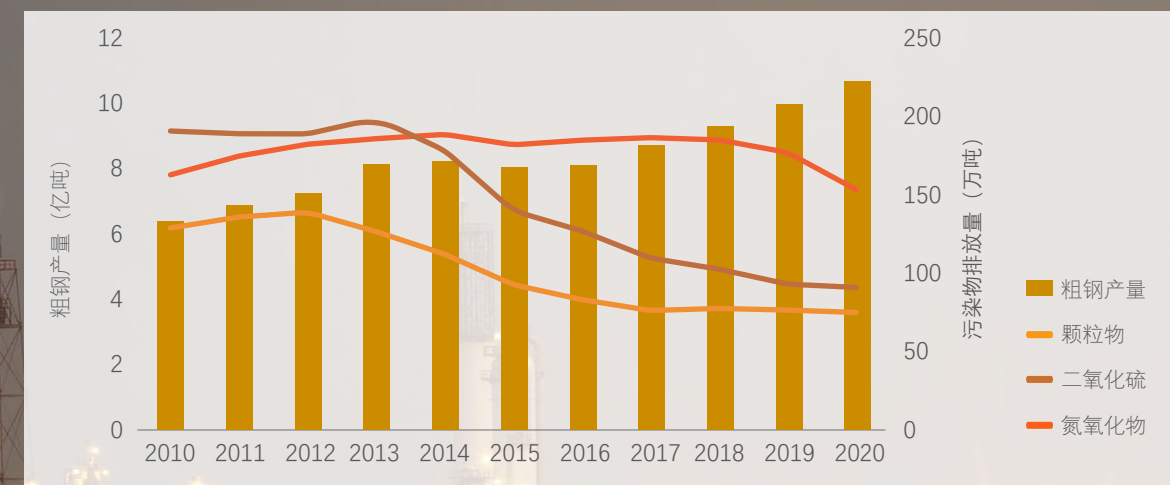


图 6.1 2010-2020 年中国粗钢产量和钢铁行业大气污染物排放量

数据来源：2011-2021 年历年中国统计年鉴，中国多尺度排放清单 MEIC

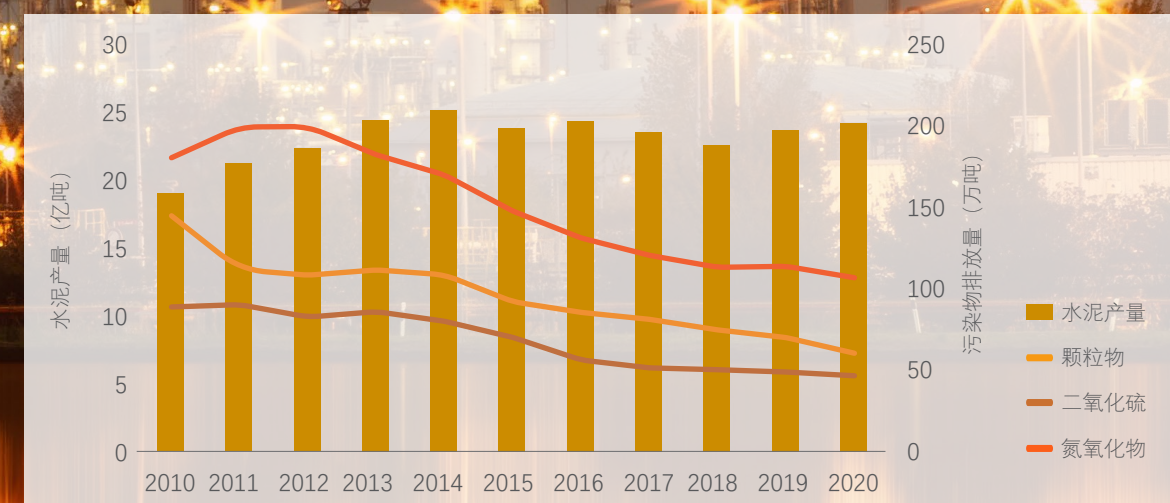


图 6.2 2010-2020 年中国水泥产量和水泥行业大气污染物排放量

数据来源：2011-2021 年历年中国统计年鉴，中国多尺度排放清单 MEIC

2010 年后，在全球和国内市场需求拉动下，中国粗钢产量仍在上升。2020 年，中国贡献了全球粗钢产量一半以上，是美国粗钢产量的 10 倍以上。同时，钢铁行业的主要大气污染物 $PM_{2.5}$ 和 SO_2 排放量均大幅下降，降幅分别为 43.4% 和 53.5%； NO_x 排放量下降 6.2%。

中国也是水泥生产大国，2020 年的水泥产量近 24 亿吨，约占世界水泥产量的六成。但水泥行业的主要大气污染物 NO_x 、 SO_2 和 $PM_{2.5}$ 排放量在近年来均大幅下降，降幅分别为 40.9%、53.5% 和 58.4%。

重点工业行业的污染物减排主要得益于中国对钢铁、水泥等重点工业行业进行了提标改造，跟随电力行业先后向超低排放迈进。

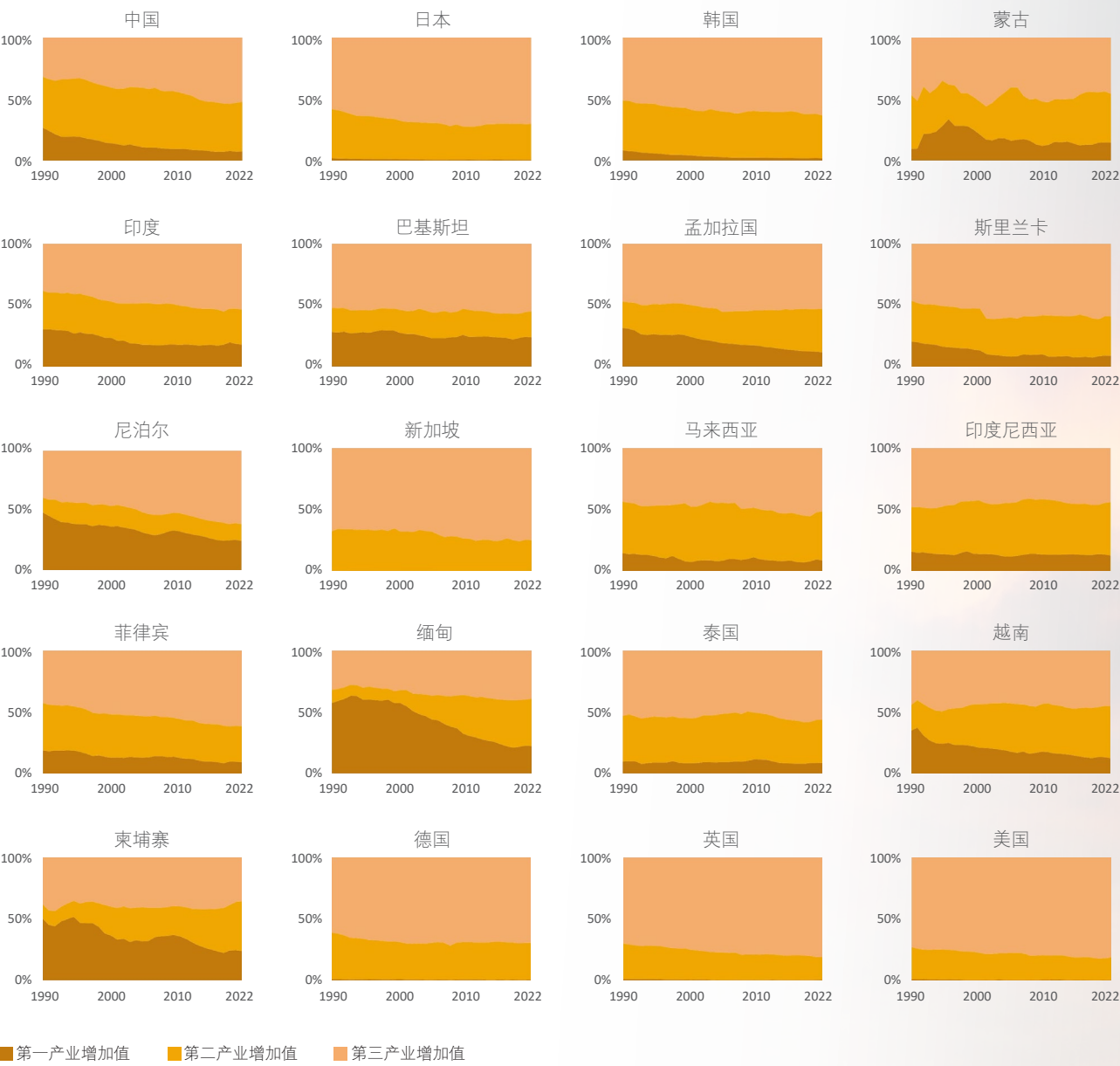


图 6.3 1990-2022 年各国产业结构变化趋势

数据来源：联合国 National accounts 数据库

第二产业在中国经济发展中起到支柱作用，增加值占比长期维持在四成左右。通过积极调整和优化产业结构、推动产业转型升级，中国的产业结构发生明显变化，第三产业增加值稳步上升，第一、二产业增加值占比近年来逐渐缩减。2010-2022 年，中国第二产业增加值占比由 46% 降至 40%。

印度、马来西亚、印度尼西亚、菲律宾和泰国的第二产业增加值占比也在近 10 年有小幅下降。缅甸和柬埔寨的第二产业增加值占比呈现稳定上升的趋势。

相比之下，日本、韩国、新加坡、德国、英国和美国这些发达国家已经历过工业的迅速发展时期，进入以第三产业为主的后工业时代。这些国家的第二产业增加值占比普遍维持在 30% 左右或以下。

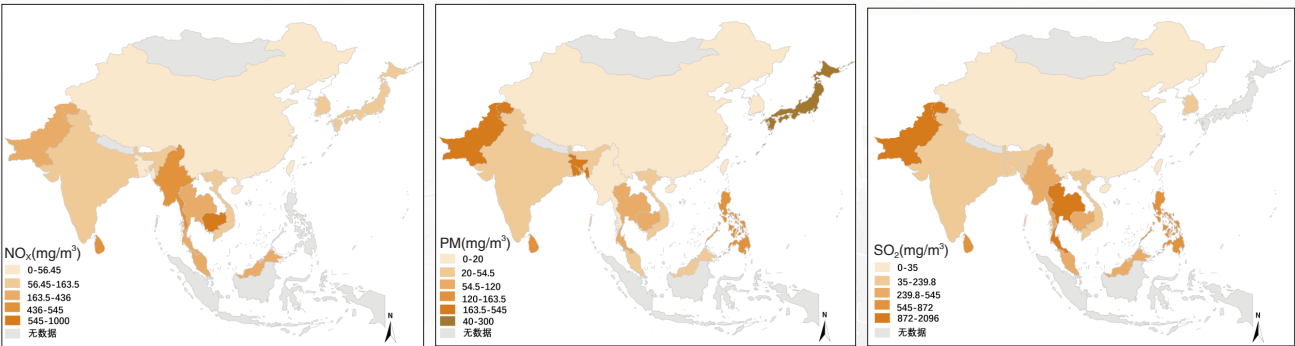


图 6.4 各国钢铁行业现行大气污染物排放限值

注：1. 欧盟的标准针对的是大于 300MW 以上设施。
2. 中国的限值是超低排放政策要求的限值。
3. 缅甸的颗粒物标准是 PM₁₀ 的标准限值。
4. 日本没有统一的 SO₂ 国家排放标准，取决于 K 值。根据排气口高度 (He) 和分配给各个区域的 K 值来设定。
5. 日本的 PM 排放标准是一个范围 (30–400mg/m³)。
6. 印度的标准选择了更全面的针对高炉的排放标准。
7. 马来西亚的标准生要针对的是烧结机；巴基斯坦的标准主要针对的是高炉，菲律宾的标准主要针对的是冶炼炉；美国的标准主要针对的是电弧炉，其他国家的钢铁行业排放标准未针对特定设备，所有工序通用。

数据来源：各国官方发布的排放标准，详见参考文献

亚洲各国钢铁行业的现行排放管控要求差异较大，中国、越南、韩国、印度的限值相对严格；巴基斯坦、柬埔寨、泰国等国较为宽松，三项污染物限值均是中国超低排放标准限值的 10 倍以上。

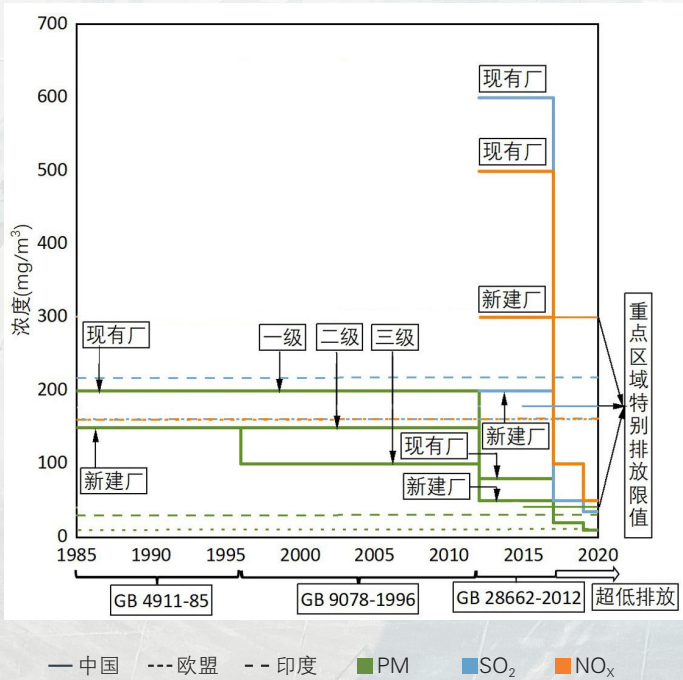


图 6.5 中国钢铁行业大气污染物排放限值升级历程

注：一级、二级和三级对应中国国家标准 GB3095-1996《环境空气质量标准》中的一、二、三类功能区。
数据来源：详见参考文献

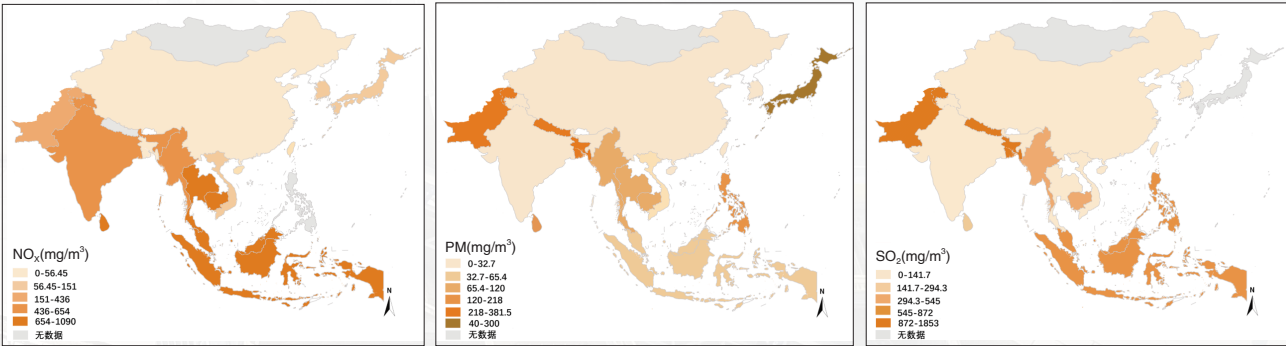


图 6.6 各国水泥行业现行大气污染物排放限值

注：1. 欧盟的标准针对的是大于 300MW 以上设施。
2. 缅甸的颗粒物标准是针对 PM₁₀ 的标准限值。
3. 日本没有统一的 SO₂ 国家排放标准，取决于 K 值。根据排气口高度 (He) 和分配给各个区域的 K 值来设定。一般排放标准：K=3.0–17.5；特殊排放标准：K=1.17–2.34。
4. 日本的 PM 排放标准是一个范围 (30–400mg/m³)。

数据来源：各国官方发布的排放标准

亚洲各国水泥行业的现行排放管控要求差异较大，中国、韩国、越南的限值相对严格，柬埔寨、巴基斯坦、斯里兰卡等国家标准较为落后，三项污染物限值均是中国标准限值的 8 倍以上。

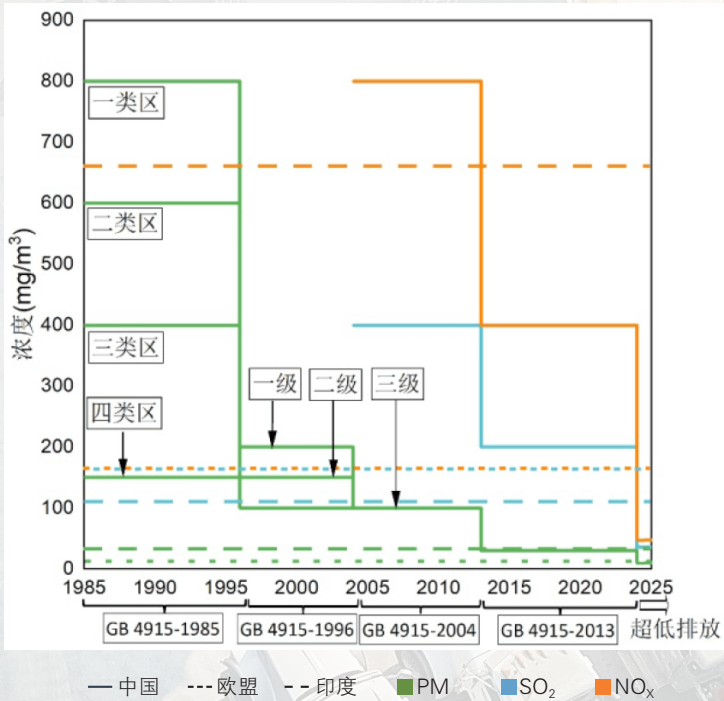


图 6.7 中国水泥行业大气污染物排放限值升级历程

注：图中的一类区、二类区、三类区和四类区是根据水泥企业的生产特点和所处地区划分的四个类区。一类区是指国家规定的特殊要求的地区；二类区是指滨海和内地重要城市的近郊区，县城的居民区和商业交通居民混合区；三类区是指普通城市的远郊区、县城的近郊区和独立的工业区；四类区是指污染程度轻的城镇和偏僻的农村。

数据来源：详见参考文献

中国水泥行业的大气污染物排放标准共经过三次修订。2022 年，中国开始全面推进水泥行业的超低排放改造工作，排放限值达到全球领先水平。现行的超低排放要求中的 PM、SO₂ 和 NO_x 的限值分别为 10、35 与 50mg/m³，相比最初 1985 年的标准分别加严了 98%、91% 和 94%，严于大部分亚洲国家，其中 SO₂ 和 NO_x 的排放限值分别是欧盟标准的 1/5 和 1/3。

环境空气质量标准 (GB 3095-2012). https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/dqhjbh/dqhjlzb/201203/t20120302_224165.shtml

Environmental Quality Standards in Japan. <https://www.env.go.jp/en/air/aq/aq.html#header>

RoK National ambient air quality standard. http://www.airkorea.or.kr/web/contents/contentView/?pMENU_NO=160&cntnts_no=16

Mongolian ambient air quality standards (MNS 4585: 2016). Mongolian ambient air quality standards (MNS 4585: 2016)

India National Ambient Air Quality Standards. https://cpcb.nic.in/uploads/National_Ambient_Air_Quality_Standards.pdf

Pakistan National Environmental Quality Standards for Ambient Air. <https://mocc.gov.pk/SiteImage/Misc/files/NEQS%20for%20Ambient%20Air.pdf>

National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) for Bangladesh. Monthly Air Quality Monitoring Report. http://case.doe.gov.bd/index.php?option=com_content&view=article&id=5&Itemid=9

Sri Lanka National Environmental (Ambient Air Quality) Regulations. <http://www.cea.lk/web/en/acts-regulations>

Nepal National Ambient Air Quality Standards, 2012. Air quality status of Nepal 2016-2020 Main report. <https://www.doenv.gov.np/>

Singapore Ambient Air Quality Targets. <https://www.nea.gov.sg/our-services/pollution-control/air-pollution/air-quality>

Philippines National Ambient Air Quality Standards. National Air Quality Status Report 2008-2015. <https://air.emb.gov.ph/wp-content/uploads/2019/04/National-Air-Quality-Status-Report-2008-20151.pdf>

Malaysia Ambient Air Quality Standard. <https://www.doe.gov.my/2021/10/04/standard-kualiti-udara>

Thailand National Ambient Air Quality Standards. <http://www.air4thai.com/webV3/#/Download>

Vietnam National Technical Regulation on Ambient Air Quality (QCVN 05: 2013/BTNMT). <https://luatvietnam.net/en/the-national-technical-regulation-on-ambient-air-quality-vbpl55453.vlo>

Indonesia National Ambient Air Quality Standards. <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/161852/pp-no-22-tahun-2021>

National Environmental Quality (Emission) Guidelines. https://data.opendevlopmentmyanmar.net/library_record/national-environmental-quality-emission-guidelines_2015-dec-29

U.S. National Ambient Air Quality Standards. <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table>

EU air quality standards. https://environment.ec.europa.eu/topics/air/air-quality/eu-air-quality-standards_en

The Air Quality Standards Regulations 2010. <https://www.legislation.gov.uk/uksi/2010/1001/contents/made>

Germany Ambient Air Quality Standards. http://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_39

WHO global air quality guidelines. <https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/who-global-air-quality-guidelines>

Air Quality Life Index 2022 Annual Update. <https://aqli.epic.uchicago.edu/reports/?visitorCountryCode=CN&l=en>

Annual Vehicle Statistics 2021. https://www.lta.gov.sg/content/dam/ltagov/who_we_are/statistics_and_publications/statistics/pdf/MVP01-4_MVP_by_fuel.pdf

Plugging into the Future with EV Mobility. <https://www.nationthailand.com/specials/40015527>, 2022.5.13.

The Future of Vietnam's Electric Vehicle Market. <https://www.viettonkinconsulting.com/news/the-future-of-vietnams-electric-vehicle-market/>, 2022.6.7.

As Evs Sales Soar in Nepal, Companies are Aggressively Installing Charging Stations. <https://www.nepallivetoday.com/2022/02/09/as-evs-sales-soar-in-nepal-companies-are-aggressively-installing-charging-stations/>, 2022.2.9.

Only 274 EVs sold in Malaysia in 2021. <https://paultan.org/2022/01/20/only-274-evs-sold-in-malaysia-in-2021-big-jump-for-electric-vehicles-in-2022/>, 2022.1.20.

Cambodia builds up EV infrastructure to supercharge electric ambitions. <https://kr-asia.com/cambodia-builds-up-ev-infrastructure-to-supercharge-electric-ambitions>, 2022.5.10.

Philippine EV Sales Were Hurt Badly By Pandemic, But EV Association Sees A Silver Lining. <https://www.carguide.ph/2021/09/philippine-ev-sales-were-hurt-badly-by.html>, 2021.11.23.

巴基斯坦排放标准 S.R.O.72(KE)/2009. <https://www.pama.org.pk/emission-standards/>.

巴基斯坦排放标准 . <https://profit.pakistantoday.com.pk/2020/08/23/pakistans-ev-future/>.

Denr Administrativer Order No.2015-04, Implementation of Vehicle Emission Limits for Euro 4/IV, and In-Use Vehicle Emission Standards. <https://www.slideshare.net/KirschenSy/denr-administrative-order-no-2015-04-implementation-of-vehicle-emission-limits-for-euro-4-and-inuse-vehicle-emission-standards>.

韩国排放标准 . <https://www.transportpolicy.net/standard/south-korea-light-duty-emissions/>.

韩国排放标准 . <https://climatepolicydatabase.org/policies/heavy-duty-emissions-standards-korea>.

Air Quality Management In Cambodia. https://www.unescap.org/sites/default/files/12.%20Air%20Quality%20Management%20in%20Cambodia_MoE.pdf.

Advancing ASEAN's Fuel Economy & Emissions Standards, Post Pandemic June 2021. <https://www.eu-asean.eu/wp-content/uploads/2022/02/Advancing-ASEANs-Fuel-Economy-Emissions-Standards-Post-Pandemic-2021.pdf>.

Regulations for Smog, Soot, and Other Air Pollution from Passenger Cars & Trucks. <https://www.epa.gov/regulations-emissions-vehicles-and-engines/regulations-smog-soot-and-other-air-pollution-passenger>.

Regulations for Smog, Soot, and Other Air Pollution from Commercial Trucks & Buses. <https://www.epa.gov/regulations-emissions-vehicles-and-engines/regulations-smog-soot-and-other-air-pollution-commercial>.

蒙古排放标准 . <https://edukr.ru/mn/gas-stations--gas-stations/trebovaniya-k-dvigatelim-evro-2-udalenie-katalizatora-plyusy-i/>.

孟加拉国排放标准, 2022 年空气污染 (控制) 条例 . https://moef.portal.gov.bd/sites/default/files/files/moef.portal.gov.bd/page/6ee9d54b_b349_4e85_b0da_6df1225285cb/_compressed.pdf.

缅甸排放标准, Automotive Policy. <https://www.industry.gov.mm/announcements/232>.

Developing Clean and Efficient Vehicle and Fuel Policy for Nepal, https://www.globalfueleconomy.org/media/597462/11_nepal_developing-clean-and-efficient-vehicle-policy-in-nepal.pdf.

欧盟排放标准 ,91/542/EEC. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31991L0542&from=EN>.

欧盟排放标准, Directive 1999/96/EC. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2000:044:0001:0155:EN:PDF>.

欧 盟 排 放 标 准 , Regulation (EC) No 595/2009. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:02009R0595-20200901&from=EN>.

欧盟排放标准 , Directive 93/59/EC. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31993L0059&qid=1669386948340&from=EN>.

欧 盟 排 放 标 准 , Directive 98/69/EC. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9ee5d16b-1a4a-4a72-ac90-5e3a0bb1d745.0008.02/DOC_1&format=PDF.

Regulation (EC) No 715/2007. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32007R0715&qid=1669386486364&from=EN>.

Commission proposes new Euro 7 standards to reduce pollutant emissions from vehicles and improve air quality. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_6495.

The Motor Industry of Japan 2012. <https://www.jama.org/wp-content/uploads/2013/12/The-Motor-Industry-of-Japan-2012-Publications-Industry-Report-2012.pdf>.

Vehicular Exhaust Emission Standards For Importation, Manufacturing Or Assembling Of Vehicles. https://www.cea.lk/web/images/pdf/airqulity/6_Gazette_English_-_12.07.2018.pdf.

泰国排放标准 . <https://service.tisi.go.th/fulltext/TIS-2315-2551m.pdf>.

Positive Ignition Engined Vehicles: Safety Requirements; Emission from Engine, Level 8. https://service.tisi.go.th/fulltext/TIS-2540-2554m_Auto1992.pdf.

Environmental Protection and Management (Vehicular Emissions). <https://sso.agc.gov.sg/SL/EPMA1999-RG6>.

印度排放标准 , G.S.R. 187(E) 2016 年中央机动车辆修订规则 . <https://www.transportpolicy.net/wp-content/uploads/2021/08/GSR-187E.pdf>.

Regulation of the Minister of Environment and Forestry Number P.20 / MENLHK / SETJEN / KUM.1 / 3/2017 concerning Quality Standards for Exhaust Emissions of New Types of Motor Vehicles Category M, Category N, and Category O.

Industry Ministry supports the development of Euro 4 vehicles. <https://en.antaranews.com/news/232937/industry-ministry-supports-the-development-of-euro-4-vehicles>.

越南排放标准 , 越南政府第 49/2011/QĐ-TTg 号决议 . <https://vbpl.vn/TW/Pages/vbpq-toanvan.aspx?ItemID=26788&Keyword=49/2011/QD-TTg>.

越南排放标准 . https://vinfastauto.com/vn_vi/tieu-chuan-khi-thai-euro-la-gi-quy-dinh-ap-dung-o-viet-nam.

车用压燃式发动机排气污染物排放限值及测量方法 (GB17691-2001). https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/dqhjbh/dqydywrwpfbz/200104/t20010416_67419.htm.

车用压燃式、气体燃料点燃式发动机与汽车排气污染物排放限值及测量方法 (中国 III、IV、V 阶段) (GB17691-2005) . https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/dqhjbh/dqydywrwpfbz/200701/t20070101_67495.htm.

重型柴油车污染物排放限值及测量方法 (中国第六阶段) (GB17691-2018). https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/dqhjbh/dqydywrwpfbz/201807/t20180703_445995.shtml.

GB18352.1-2001 轻型汽车污染物排放限值及测量方法 (I) (GB18352.1-2001). https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/dqhjbh/dqydywrwpfbz/200104/t20010416_67420.shtml.

轻型汽车污染物排放限值及测量方法 (II) (GB18352.2-2001). <https://openstd.samr.gov.cn/bzgk/gb/newGbInfo?hcno=F7A8DCC295C39F02361698B0DE78B698>.

轻型汽车污染物排放限值及测量方法 (中国 III、IV 阶段) (GB18352.3-2005). https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/dqhjbh/dqydywrwpfbz/200707/t20070701_66145.shtml.

轻型汽车污染物排放限值及测量方法 (中国第五阶段) (GB18352.5-2013). https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/dqhjbh/dqydywrwpfbz/201309/t20130917_260352.shtml.

轻型汽车污染物排放限值及测量方法 (中国第六阶段) (GB18352.6-2016). https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/dqhjbh/dqydywrwpfbz/201612/t20161223_369476.shtml.

中国汽油标准 .《车用汽油》(GB 17930-2016)

中国汽油标准 .《车用汽油》(GB 17930-2013)

中国汽油标准 .《车用汽油》(GB 17930-2011)

中国汽油标准 .《车用汽油》(GB 17930-2006)

中国汽油标准 .《车用无铅汽油》(GB 17930-1999)

中国柴油标准 .《车用柴油》(GB 19147-2016)

中国柴油标准 .《车用柴油》(GB 19147-2013)

中国柴油标准 .《车用柴油》(GB 19147-2009)

中国柴油标准 .《车用柴油》(GB/T 19147-2003)

我国汽油质量升级时间表 . http://www.gov.cn/jrzq/2013-12/18/content_2550618.htm

JAPAN: FUELS: DIESEL AND GASOLINE. <https://www.transportpolicy.net/region/asia/japan/>

SOUTH KOREA: FUELS: DIESEL AND GASOLINE. <https://www.transportpolicy.net/standard/south-korea-fuels-diesel-and-gasoline/>

蒙古柴油标准, MNS 0216: 2017. <https://estandard.gov.mn/standard/reader/1810>

蒙古汽油标准, MNS 0217: 2017. <https://estandard.gov.mn/standard/reader/1813#4-mnptjknvgyhsdadt.jpg>

Clean Fuels and Vehicle in Asia. <http://www.airqualityandmobility.org/PCFV/PDF/CleanFuelsVehiclesinAsiaUpdate.pdf>

Govt orders all petrol, diesel imports be Euro-V compliant as oil companies protest move. <https://www.dawn.com/news/1567870>

Revisions of vehicular emission standards for Bangladesh (Bdesb-2 and Bdesn-3), Draft Final Report - Part 1. http://case.doe.gov.bd/file_zone/reports_publications/standards/Revisions%20of%20Vehicular%20Emission%20Standards%20for%20Bangladesh.pdf

VEHICLE EMISSION STANDARDS VERSUS EURO TECHNOLOGIES IN SRI LANKAN CONTEXT. https://baq-2018.org/wp-content/uploads/2018/11/November-13_Tuesday_2_3_Vehicle-Emission_Jayatilake.pdf

In futile exercise, Nepal imports new generation fuel for old generation vehicles, <https://kathmandupost.com/money/2022/02/25/nepal-importing-new-generation-fuel-for-old-generation-vehicles>

Information on Asia-Pacific Fuel Quality Standards and their Implications for New Zealand, <https://www.mbie.govt.nz/assets/179bd09fa6/asia-pacific-fuel-quality-standards.pdf>

Implementation of Vehicle Emission Limits for Euro 4/IV, and In-Use Vehicle Emission Standards, DENR ADMINISTRATIVE ORDER No. 2015-04. <https://www.denr.gov.ph/>

Malaysia postpones Euro 4M implementation to January 2020. <https://www.fuelsandlubes.com/malaysia-postpones-euro-4m-implementation-january-2020/>

Thailand switches to Euro IV standard for gasoil, gasoline. <https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/latest-news/oil/010212-thailand-switches-to-euro-iv-standard-for-gasoil-gasoline>

50 PPM Sulfur Diesel Dominates in 15 Countries with Two or More Diesel Market Grades, <https://stratasadvisors.com/Insights/2019/071919-Diesel-Market-Share>

印度尼西亚汽油标准 , SK 933/2013. https://jdih.esdm.go.id/peraturan/Kepdirjenmgs_Nomor_933.K_10_DJM.S_2013.pdf

EPA's Program for Cleaner Vehicles and Cleaner Gasoline. http://fbaum.unc.edu/lobby/024_Low-sulfur_Gasoline/Agency_Activities/EPA/EPA%27s_Program_for_Cleaner_Vehicles_and_Cleaner_Gasoline.htm

Diesel Fuel Dates Chart. <https://www.epa.gov/diesel-fuel-standards/supporting-documents-diesel-fuel-standards>

Amendments Related to Tier 3 Motor Vehicle Emission and Fuel Standards, Nonroad Engine and Equipment Programs, and MARPOL Annex VI Implementation. <https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2015-02-19/pdf/2015-02846.pdf>

Council Directive 93/12/EEC of 23 March 1993 relating to the sulphur content of certain liquid fuels. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31993L0012&from=EN>

Directive 98/70/EC of the European Parliament and of the Council of 13 October 1998 relating to the quality of petrol and diesel fuels and amending Council Directive 93/12/EEC. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31998L0070&from=EN>

Directive 98/70/EC of the European Parliament and of the Council of 13 October 1998 relating to the quality of petrol and diesel fuels and amending Council Directive 93/12/EEC. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31998L0070&from=EN>

Directive 2009/30/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 amending Directive 98/70/EC as regards the specification of petrol, diesel and gas-oil and introducing a mechanism to monitor and reduce greenhouse gas emissions and amending Council Directive 1999/32/EC as regards the specification of fuel used by inland waterway vessels and repealing Directive 93/12/EEC (Text with EEA relevance). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0030&from=EN>

IMO, MARPOL Annex VI: Prevention of air pollution by ships.

IMO, Special Areas under MARPOL. <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Special-Areas-Marpol.aspx>.

IMO, MEPC78. <https://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/Pages/MEPC-78th-session.aspx> .

IMO, Fourth IMO Greenhouse Gas Study, 2021.

珠三角、长三角、环渤海（京津冀）水域船舶排放控制区实施方案 . https://xxgk.mot.gov.cn/2020/jigou/haishi/202006/t20200630_3319179.html, 2015.12.5.

船舶大气污染物排放控制区实施方案 . https://xxgk.mot.gov.cn/2020/jigou/haishi/202008/t20200828_3457437.html

SPECIAL ACT ON THE IMPROVEMENT OF AIR QUALITY IN PORT AREAS, 2019.12.24.

California Air Resources Board, FUEL SULFUR AND OTHER OPERATIONAL REQUIREMENTS FOR OCEAN-GOING VESSELS WITHIN CALIFORNIA WATERS AND24 NAUTICAL MILES OF THE CALIFORNIA BASELINE.

欧盟 , DIRECTIVE 1999/32/EC, 2005.8.11 .

欧盟 , DIRECTIVE 2016/802, 2016.5.11.

船舶发动机排气污染物排放限值及测量方法 (中国第一、二阶段)(GB 15097-2016). https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/dqhjbh/dqydywrwpfbz/201608/t20160830_363272.shtml.

欧盟 , Stage V: REGULATION (EU) 2016/1628, 2022.7.17.

欧盟 , Stage VIIIA: DIRECTIVE 2004/26/EC, 2004.5.20

美 国 , 40 CFR-PART 1042-CONTROL OF EMISSIONS FROM NEW AND IN-USE MARINE COMPRESSION-IGNITION ENGINES AND VESSELS, 2021.6.29.

India Industry Specific Standards. <https://cpcb.nic.in/uploads/Industry-Specific-Standards/Effluent/38-petrochemical.pdf>

National Environmental Quality Standards Municipal and Liquid Industrial Effluent. <https://mocc.gov.pk/Sitelmage/Misc/files/National%20Environmental%20Quality%20Standards%20for%20Municipal%20and%20Liquid%20Industriaoal%20Effluents.pdf>

The Environment Conservation Rules. <https://www.elaw.org /system/files /Bangladesh+-+ +Environmental+Conservation+Rules,+1997.pdf>

Quick Reference Guide to Relevant Industrial Standards of Sri Lanka. <https://efl.lk/wp-content/uploads/2020/04/enviromental-foundation-quick-refernce-gide-to-relevant-indusrial-standards-of-sri-lanka-a4-bookred-190430211019.pdf>

REPORT on Brick Kiln Stack Emission Monitoring in Kathmandu Valley. <https://doenv.gov.np/public/uploads/Pdfile/Final%20Report%20Brick%20Kiln%20Emission-55227-65257.pdf>

Standards on Chimney Height and Emission for the Brick Kiln Industries. <https://kathmandupost.com/national/2018/02/12/government-issues-new-standards-for-brick-kilns>

Emission standards for thermal power plants. https://ditppu.menlhk.go.id/portal/uploads/laporan/1593657762_PERMENLHK%20NO%2015%20TH%202019%20ttg%20BM%20Emisi%20Pembangkit%20Listrik%20Thermal.pdf

Emission standards for the cement plants. <https://ppkl.menlhk.go.id/website/filebox/766/190930180406PERMENLHK%20NOMOR%20P.19%20TAHUN%202017.pdf>

Standards of Concentration of Air Impurities. [https://sso.agc.gov.sg/SL/EPMA1999-RG8?DocDate=20080131&Pr](https://sso.agc.gov.sg/SL/EPMA1999-RG8?DocDate=20080131&Proovlds=Sc-)

Environmental Quality (Clean Air) Regulations. https://eswis.doe.gov.my/helpDocs/No.5%20-%202014/Peraturanperaturan_kualiti_alam_sekeliling_udara_bersih_2014_EN.pdf

Improving Emission Regulation for Coal-fired Power Plants in ASEAN. https://www.eria.org /RPR_FY2016_02.pdf

Component 6 of the Compendium of Philippine Environment Statistics. <https://psa.gov.ph/press-releases/id/163118>.

National Technical Regulation on Emission of Thermal Power industry. <https://www.env.go.jp/air/tech/ine/asia/Vietnam/files/law/QCVN%2022-2009.pdf>

Draft of new National Technical Regulation (QCVN) on industrial dust and emissions. <http://vea.gov.vn/Documents/20210708%20QCVN%20Khi%20thai%20cong%20nghiep.pdf>

Thailand Emission Standards. http://www.secot.co.th/secot_ww/StandardSECOT/1.คุณภาพอากาศจากปล่องระบายอากาศ.pdf

The Notification of the Ministry of Industry “Emission Standard of a Cement Plant”. https://www.jetro.go.jp/ext_images /thailand/e_activity/pdf/moinoti32.pdf

The Control of Air Pollution and Noise Disturbance. <https://www.ajne.org/sites/default/files/resource/laws/7213/sub-decree-42-on-control-of-air-pollution-2000.pdf>

National Environmental Quality (Emissions) Guidelines. https://www.myanmar-responsiblebusiness.org/pdf/2015-12-29-National-Environmental-Quality_Emission_Guidelines_en.pdf

National Standards of Air Pollutants in Coal Fired Power Plants and Thermal Plants. http://www.jcm-mongolia.com/wp-content/uploads/2015/11/Session-1_20130122_Air-pollution-emission-standards-MGL.pdf

燃煤电厂大气污染物排放标准 (GB 13223-1996).

燃 煤 电 厂 大 气 污 染 物 排 放 标 准 (GB 13223-2003). <https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/dqhjbh/>

- dqgdwrywrwpfbz/200401/W020110127387986915138.pdf
- 燃煤电厂大气污染物排放标准 (GB 13223-2011). <https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/dqhjbh/dqgdwrywrwpfbz/201109/W020130125407916122018.pdf>
- 全面实施燃煤电厂超低排放和节能改造工作方案. <https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201512/W020151215366215476108.pdf>
- 钢铁工业污染物排放标准 (GB 4911-85).
- 工业窑炉大气污染物排放标准 (GB 9078-1996). <https://www.mee.gov.cn/image20010518/5301.pdf>
- 钢铁烧结、球团工业大气污染物排放标准 (GB 28662-2012). <https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/dqhjbh/dqgdwrywrwpfbz/201207/W020200622311052107329.pdf>
- 重点区域大气污染防治“十二五”规划. https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201303/t20130305_248787.htm.
- 《钢铁烧结、球团工业大气污染物排放标准》修改单. <https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgth/201706/W020170615549538369657.pdf>
- 关于推进实施钢铁行业超低排放的意见. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk03/201904/t20190429_701463.html.
- 水泥工业大气污染物排放标准 (GB 4915-1985).
- 水泥工业大气污染物排放标准 (GB 4915-1996).
- 水泥工业大气污染物排放标准 (GB 4915-2004). <https://www.mee.gov.cn/image20010518/5315.pdf>
- 水泥工业大气污染物排放标准 (GB 4915-2013). <https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/dqhjbh/dqgdwrywrwpfbz/201312/W020131231370229586806.pdf>
- Atmospheric Environment Protection Law. <https://www.law.go.kr/LSW/%20lsInfoP.do?efYd=20190716&lsiSeq=209973#0000>.
- Air Pollution Control Policy in Japan Air Pollution Control Policy in Japan for Mitigating Sulphur Emission. [https://neaspec.org/sites/default/files/S2_17pm_Aizawa\(MoEJ\)_final.pdf](https://neaspec.org/sites/default/files/S2_17pm_Aizawa(MoEJ)_final.pdf)
- Regulatory Measures against Air Pollutants Emitted from Factories and Business Sites and the Outline of Regulation - Emission Standards for Soot and Dust, and NOx. https://www.env.go.jp/en/air/aq/air/air4_table.html.
- DIRECTIVE 2010/75/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on industrial emissions. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32010L0075>.
- National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants From Coal- and Oil-Fired Electric Utility Steam Generating Units and Standards of Performance for Fossil-Fuel-Fired Electric Utility, Industrial-Commercial Institutional, and Small Industrial-Commercial-Institutional Steam Generating Units. <https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2015-02-17/pdf/2015-01699.pdf>
- Standards of Performance for Steel Plants: Electric Arc Furnaces. <https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2005-02-22/pdf/05-3360.pdf>
- National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants From the Portland Cement Manufacturing Industry and Standards of Performance for Portland Cement Plants. <https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2010-09-09/pdf/2010-21102.pdf>