

多城市生态安全评估分析

广深莞作为珠三角的核心发展区域，通过建立该地区的生态安全指标评价体系、分析其生态安全状况，能够为多层次区域生态安全系统的构建与管理提供决策依据。

表 1 广深莞城市群生态安全评价指标体系

指标分类	细分指标		属性	权重
1.人口&社会	人口密度	1	-	0.021102
	人口自然增长率	2	-	0.018885
	年末户籍人口数	3	-	0.014407
	城镇化率	4	-	0.012976
	城镇登记失业率	5	-	0.016507
	平均每万人口普通高校在校学生数	6	+	0.01395
	平均每万人口中小学生在学生数	7	+	0.012533
	规模以上工业企业每万人R&D活动人员	8	+	0.002906
	千人卫生技术人员	9	+	0.012984
	卫生机构数	10	+	0.009564
	城镇恩格尔系数	11	-	0.008034
	人均道路面积	12	+	0.014807
	人均住房面积	13	+	0.00901
2.资源用量	人均水资源量	14	+	0.021334
	用水量/水资源总量	15	+	0.016302
	万元GDP用水量	16	-	0.016305
	原煤消耗比例	17	-	0.01274
	万元 GDP 能耗	18	-	0.031612
3.生态用地	人均耕地面积	19	+	0.031104
	人均公共绿地面积	20	+	0.024717
	森林覆盖率	21	+	0.029161
	建成区绿化覆盖率	22	+	0.024829
	灌木林面积	23	+	0.009276
4.大气环境	万元 GDP SO ₂ 排放强度	24	-	0.021413
	万元 GDP 烟尘排放强度	25	-	0.024021
	空气综合污染指数	26	-	0.023828
	酸雨频率	27	-	0.018982
	年平均降水量	28	+	0.016419
	年平均气温	29	+	0.005741
5.水体环境	万元GDP废水排放量	30	-	0.028361
	饮用水水质达标率	31	+	0.029779
	工业废水达标处理率	32	+	0.010564
	城市生活污水处理率	33	+	0.028964
6.固体废物	万元 GDP 固废排放强度	34	-	0.009847
	工业固体废物处置利用率	35	+	0.022513
	生活垃圾无害化处理率	36	+	0.025923
7.经济指标	城镇人均可支配收入	37	+	0.024479
	人均固定资产投资额	38	+	0.023407
	人均 GDP	39	+	0.028476
	经济密度	40	+	0.026757
	城市基础设施投资	41	+	0.023229
	研究与发展经费占GDP比例	42	+	0.024222
	第三产业占GDP比例	43	+	0.02465
	第二产业占GDP比例	44	-	0.026425
	化肥施用实物量	45	-	0.017342
8.环境其他	农药施用量	46	-	0.013678
	成灾面积占受灾面积比例	47	-	0.019193
	灾害直接经济损失	48	-	0.017329
	大陆海岸线长度	49	+	0.008379
	水域面积率	50	+	0.011261
	水土流失治理面积	51	+	0.010121
	道路交通噪声监测等效声级	52	-	0.01387
	区域环境噪声等效声级	53	-	0.018751
	环保重点城市道路交通噪声路段超标率	54	-	0.017029

广深莞城市群的生态安全评价指标体系涵盖 8 个大类指标及 54 个细分指标，包括人口与社会、资源用量、生态用地、大气环境、水体环境、固体废物、经济指标及环境其他指标，该指标体系能够侧面反映出该地区的可持续发展情况。根据主观权重法计算可得广深莞城市群生态安全评估体系的指标权重分配。由表 1 可知，权重排名前四位的是万元 GDP 能耗、人均耕地面积、饮用水质达标率和森林覆盖率，分别为 3.16%、3.11%、2.98%和 2.92%，说明这些指标在广深莞城市群生态安全评价中占有十分

重要的地位，因此，综合协调自然资源及环境问题对地区的生态安全维护能够起到积极作用。原始指标数据对生态安全的影响又分为正、负效应。正效应指标是指对总评价值起到正向作用的指标，其值越大，贡献越大；相反，负效应指标是指起负向作用的指标，其值越大，贡献则越小^[1]。其中，万元 GDP 能耗作为负向效应指标，其值越小，表明地区经济发展对能源的依赖程度越小，间接反映出该地区的节能降耗政策的效果显著，因而对生态安全总评价值的贡献越大；人均耕地面积、饮用水质达标率和森林覆盖率作为正效应指标，其值越大，表明自然资源开采率越少、水体污染治理效果显著和森林资源质量稳步提升，因而对生态安全总评价值的贡献越大。

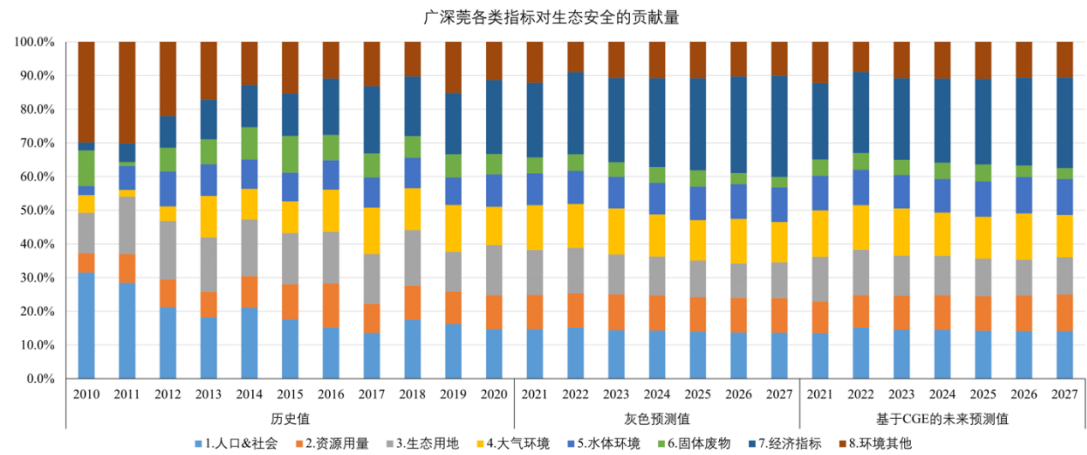


图 1 广深莞各类指标对生态安全的贡献量

图 2 广深莞有区域合作情景下各指标生态安全等级

图 2 广深莞有区域合作情景下各指标生态安全等级

图 3 广深莞有区域合作情景下各指标生态安全等级

图 3 广深莞有区域合作情景下各指标生态安全等级

根据图 1 可知，虽然人口与社会指标对生态安全评价总值的贡献比例逐年下降，随后呈相对稳定状态，其值稳定在 13-15%，但根据 Error! Reference source not found. 和 Error! Reference source not found. 可知，人口与社会细分指标中人口密度、人口自然增长率、年末户籍人口数及城镇化率的生态安全评价值也在逐年下降，并于 2027 年趋近 0，说明这些指标将处于不安全状态。同时，该地区的人均耕地面积、生活垃圾无害化处理率、道路交通噪声监测等效声级及道路交通噪声路段超标率的生态安全评价值也将处于不安全状态。原因是由于广深莞城市群积极推进城镇化进程、稳步完善地区的产业结构，城市群对人口的吸引力不断增加，使得该地区面临较大的人文社会压力，给资源环境造成了相应的负面影响，而资源用量、生态用地、大气环境对生态安全系统的构建占有重要地位，其贡献比例均超过 10%（详见图 1）。因此，该地区需要合理制定人口发展计划、提高人口承载力，并积极应对环境资源压力、落实环境治理政策，以推进生态安全系统的建设。相较于人口社会指标，经济指标对生态安全评价总值的贡献比例逐年上升，并逐渐占据主导地位，其值于 2027 年分别达到 30%（灰色预测值）及 27%（基于一般均衡模型的未来预测值）。与此同时，根据表 1 广深莞城市群生态安全评价指标体系可知，单项经济指标的安全值也在逐年上升，将逐渐转向安全状态，该趋势表明，在经济发展的前提下进行生态环境保护，有利于该地区的可持续发展^[2]。此外，虽然部分指标的安全值总体呈上升趋势，但这些指标仍处于一般安全状态，如空气综合污染指数和工业废水达标处理率；在人类活动行为干扰的情况下，第三产业占 GDP 比例的生态安全值趋势呈现波动特点，由不安全状态转向安全状态，并再次转向不安全状态，这些指标状况间接表明该地区仍需要合理调整产业结构、落实可持续发展的经济增长模式。

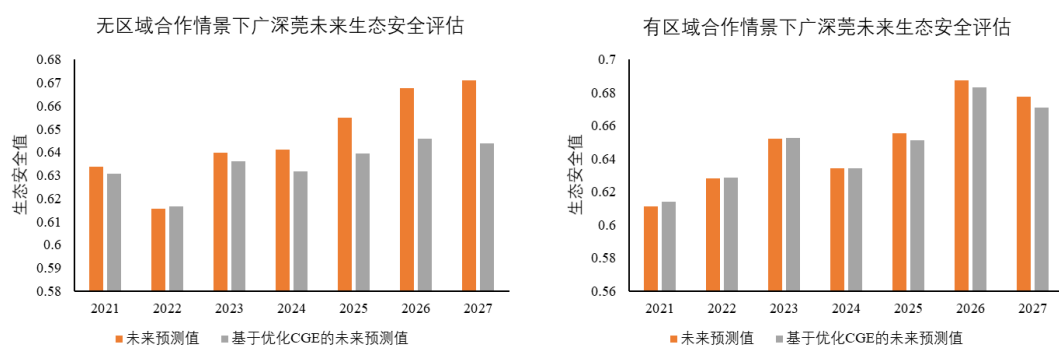


图 4 广深莞未来多重情景下生态安全对比

广深莞城市群作为珠三角的核心区域及经济主体，三个城市的区域效果对该地区的生态安全系统建设具有指导意义。由 Error! Reference source not found.可知，广深莞城市群的生态安全值呈波动上升的趋势，该值于 2027 年约为 0.67，接近安全状态等级。同时，在无区域合作的情景下，人类行为活动的扰动会降低该地区的生态安全值，从而降低该地区的生态安全等级；在有区域合作情景下，人类行为活动的扰动对该地区的生态安全等级影响较小，这是由于广州、深圳和东莞在进行碳联动下的产电合作模式时，本地产电量总体增高，进口电量减少，降低了广深莞城市群的发电系统成本。

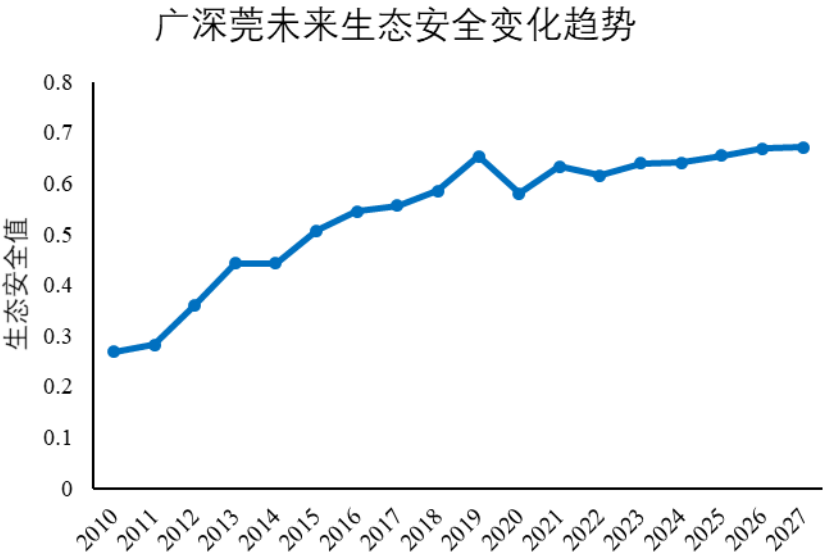


图 5 广深莞生态安全趋势

广深莞城市群的生态安全值的历史、未来趋势分析能够直接体现出该地区的生态安全系统的构建情况，对其他地区具有借鉴意义。由广深莞城市群生态安全变化趋势图可知（详见图 5），该地区的生态安全值总体呈上升趋势，其值由 0.27 逐步升至 0.67，相应的生态安全等级由不安全等级转向一般安全等级。这是由于广深莞城市群大力发展第三产业、加大研究与发展投资、不断对产业和经济结构进行调整和转型升级，从而降低了该地区的城镇恩格尔系数，同时提高了经济密度、人均 GDP 等其他经济指标数据，增强了经济与人文社会的响应。同时，广深莞城市群积极落实节能减排和环境保护政策，如将高污染、高能耗的工业企业迁至周边地区，以解决保护生态环境与经济发展的平衡问题。此外，该地区的生态安全趋势伴随着小幅波动，如在 2019-2020 年，该地区的生态安全值由 0.65 降至 0.58，随后升至 0.63，并呈现相对稳

定状态。该波动归因于 2020 年广深莞城市群的人口自然增长率、人口自然密度、年末户籍人口数等指标远高于 2019 年的相应指标数据，该地区面临着较大人文社会压力；2020 年平均降水量较 2019 年减少 330.72mm，万元 GDP 的固废产生强度上升，但一般工业固体废物利用率由 2019 年的 95%降至 87%，这也增加了该地区的资源环境压力。

因此，广深莞城市群需要以生态安全评价指标体系为依据，加强区域间合作，系统地完善生态系统服务功能，减缓各类压力指标如人口结构、资源分配对生态安全造成的负面影响，使该地区的生态安全系统具备抵御外界的干扰能力。