

电力来源

发电装机绿色转型持续推进，可再生能源装机突破10亿千瓦。2021年，全国全口径火电装机容量13.0亿千瓦，其中，煤电11.1亿千瓦，同比增长2.8%，占总发电装机容量的比重为46.7%，同比降低2.3个百分点。水电、风电、光伏发电装机均突破3亿千瓦，水电装机容量3.9亿千瓦(常规水电3.5亿千瓦，抽水蓄能3639万千瓦);风电3.3亿千瓦(陆上3.0亿千瓦，海上2639万千瓦);太阳能发电装机3.1亿千瓦(集中式2.0亿千瓦，分布式1.1亿千瓦，光热57万千瓦)。风电并网装机容量已连续12年稳居全球第一，光伏发电并网装机容量连续7年稳居全球第一，海上风电装机跃居世界第一。核电5326万千瓦。生物质发电3798万千瓦。

- (1)排放粉尘造成污染;
- (2)排放硫氧化物、氮氧化物造成污染;
- (3)排放固体废弃物(粉煤灰、渣)而造成污染;
- (4)排放污水造成污染;
- (5)生产过程中产生的噪声污染;
- (6)火电厂车间、场所的电磁辐射污染;
- (7)排放热水造成的热污染。

火电厂**污染物** 分为固体的、液体的和气体的几类以及噪声，主要有以下6种。

①尘粒：包括降尘和飘尘。主要是燃煤电厂排放的尘粒。中国火电厂年排放尘粒约600万吨。尘粒不仅本身污染环境，还会与**二氧化硫**、氧化氮等有害气体结合，加剧对环境的损害。其中尤以10微米以下飘尘对人体更为有害。一般燃煤电厂的飞灰尘粒中，小于10微米的占20~40%。

②二氧化硫(SO₂):煤中的可燃性硫经在锅炉中高温燃烧，大部分氧化为二氧化硫，其中只有0.5~5%再氧化为**三氧化硫**。在大气中二氧化硫氧化成三氧化硫的速度非常缓慢，但在相对湿度较大、有颗粒物存在时，可发生催化氧化反应。此外，在太阳光紫外线照射并有氧化氮存在时，可发生**光化学反应**而生成三氧化硫和硫酸酸雾，这些气体对人体和动、植物均非常有害。大气中二氧化硫是造成酸雨的主要原因。据1988年估计，中国每年向大气中排放的二氧化硫(包括火电厂的排放)为1700万吨左右。全国189个环境监测站的监测结果表明，中国遭受酸雨污染的农田已达4000万亩，每年造成的农业经济损失在15亿元以上。减少火电厂排放的二氧化硫至关重要。

③氧化氮(NO_x):火电厂排放的氧化氮中主要是**一氧化氮**，占氧化氮总浓度的90%以上。一氧化氮生成速度随燃烧温度升高而增大。它的含量百分比还取决于燃料种类和氮化物的含量。煤粉炉氧化氮排量为440~530ppm;液态排渣炉则为800~1000ppm。**二氧化氮**刺激呼吸器官，能深入肺泡，对肺有明显损害。一氧化氮则会引起**高铁血红蛋白症**，并损害中枢神经。

④废水：火电厂的废水主要有冲灰水、除尘水、工业污水、生活污水、酸碱废液、热排水等。除尘水、工业污水一般均排入灰水系统。80年代中国灰水年排放量有6亿多吨，其中一部分PH超标，灰水呈碱性。个别电厂灰水中还有氟、砷超过标准，还有部分灰水悬浮物超标。灰中的氧化钙过高还会引起灰管结垢。

酸碱废液主要来自**锅炉给水系统**。不同的锅炉给水处理系统排出的酸碱废液量不同。阴、阳离子处理系统要排出40%左右的酸碱，移动床排出20%。另外，酸洗锅炉的废酸液一般都排入**中和池**，中和以后再排出。

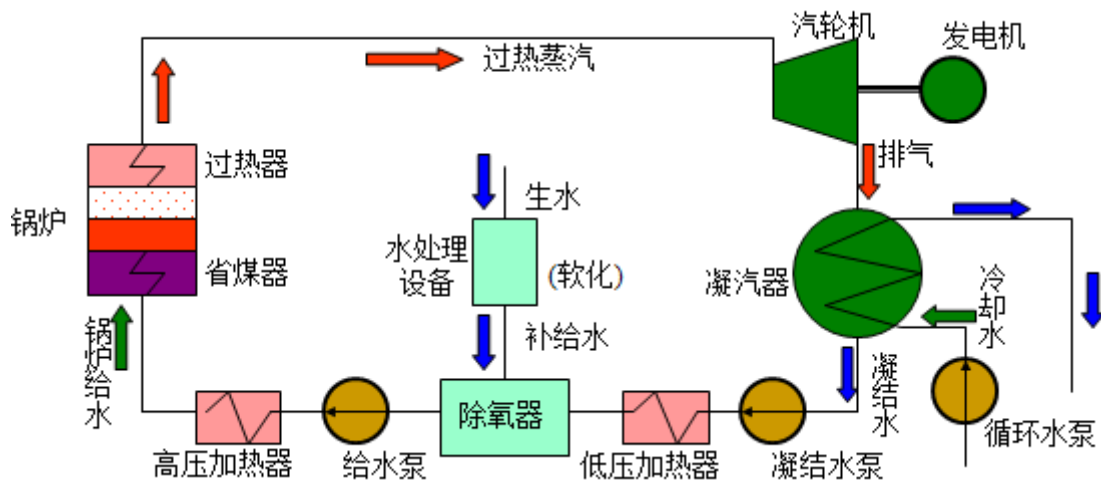
热排水主要是经过凝汽器以后排出的循环水，一般排水温度要比进水温度高 8℃。如热水排入水域后超过水生生物承受的限度，则会造成热污染，对水生生物的繁殖、生长均会产生影响。

⑤粉煤灰渣：是煤燃烧后排出的固体废弃物。其主要成分是二氧化硅、三氧化二铝、氧化铁、氧化钙、氧化镁及部分微量元素。粉煤灰既是“废”也是“资源”。如不很好处置而排入江河湖海，则会造成水体污染；乱堆放则会造成对大气环境的污染。

⑥噪声：火电厂的噪声主要有锅炉排汽的高频噪声、设备运转时的空气动力噪声、机械振动噪声以及电工设备的低频电磁噪声等。其中以锅炉排汽噪声对环境影响最大。排汽噪声最大可达130分贝(A)。

火力发电厂的废水主要来源是灰场废水、生活用水和工业用水三种，工业废水的处理是本文的重点探讨对象。工业废水又被分为持续性废水和非持续性废水。

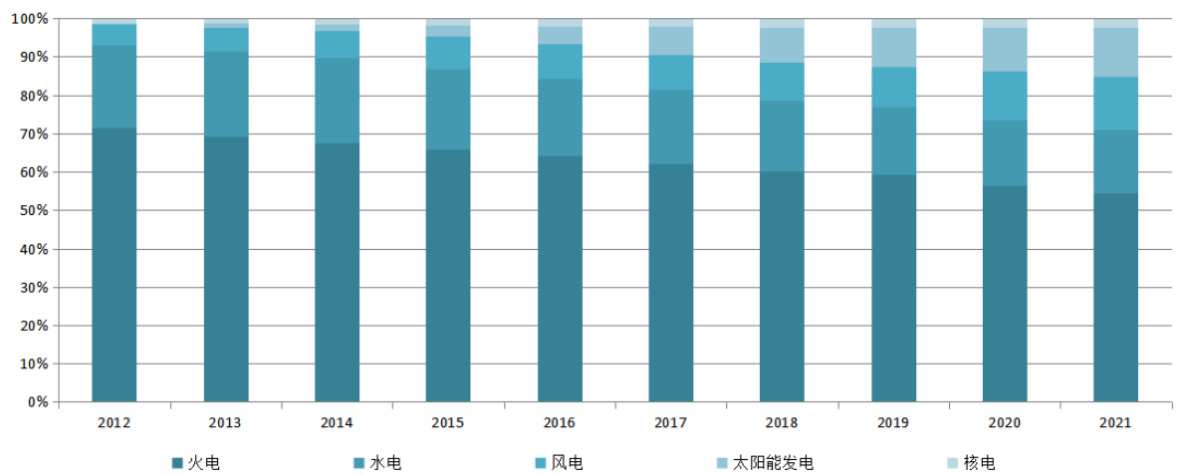
持续性废水是指在火力发电厂一天的运转当中，这种类型的废水会进行持续性排放，如工业水预处理装置产生的废水、锅炉排污以及实验室排水等都属于持续性废水。而非持续性废水主要来自检修时产生的废水或者是没有规律产生的废水。如对设备进行化学性清洗产生的废水、油区的含油废水等。



针对节能减排、保护环境的当前形势，目前废水处理工作中较为重要的是脱硫废水的处理与合理排放。脱硫废水是电厂使用以湿式石灰石和石膏进行脱硫工艺而产生的工业废水。脱硫废水和电厂其它种类的废水相比，水中的污染物含量较高，含有各种无机盐和重金属，对环境的损伤较大，目前主要的脱硫废水处理工艺对脱硫废水的治理起到了一定作用，但是脱硫废水所产生的潜在污染问题仍未解决。

能源结构正在逐步改善，但目前火力发电占比依然居高不下

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
火电	81968	87009	93232	100050	106094	111009	114408	118957	124517	129678
水电	24947	28044	30486	31953	33207	34411	35259	35804	37016	39092
核电	1257	1466	2008	2717	3364	3582	4466	4874	4989	5326
风电	6142	7652	9657	13075	14747	16400	18427	20915	28153	32848
太阳能发电	341	1589	2486	4318	7631	13042	17433	20418	25343	30656



如果大范围推广电动汽车，这会大幅提高夜间电网负荷，增大能源消耗（电力运输也有着损耗）

24h发电

表 3 同等输电能力下各输电方案损耗率

Table 3 Loss rate of each transmission scheme under the same transmission capacity

输送 距离/km	额定输送 容量/MW	1 000 kV	500 kV 常规	500 kV 紧凑
200	2 800	0.62%	1.08%	1.37%
	4 000	0.63%	1.05%	1.83%
	5 600	0.70%	1.08%	1.72%
	8 000	0.84%	1.05%	1.83%
	8 400	0.87%	1.08%	1.58%
400	2 800	1.13%	1.70%	2.71%
	4 000	1.15%	2.07%	2.62%
	5 600	1.29%	1.86%	2.71%
	8 000	1.15%	1.88%	2.62%
	8 400	1.16%	1.94%	2.71%
600	2 800	1.63%	2.54%	4.06%
	4 000	1.66%	2.62%	3.91%
	5 600	1.87%	2.78%	4.06%
	8 000	1.66%	2.81%	3.91%
	8 400	1.68%	2.68%	3.63%
800	2 800	2.14%	3.38%	4.15%
	4 000	2.18%	3.19%	3.86%
	5 600	2.14%	3.38%	4.62%
	8 000	2.18%	3.31%	4.68%
	8 400	2.21%	3.38%	4.84%
1 000	2 800	2.66%	3.83%	5.15%
	4 000	2.71%	3.96%	4.78%
	5 600	2.66%	3.96%	5.74%
	8 000	2.71%	3.96%	5.81%
	8 400	2.74%	4.02%	5.51%

一般不超过电阻损耗的 20%, 1 000 kV 特高压输电线路的输送容量较小时, 电晕损耗可能会超过电阻损耗的 20%。

目前, 国内超高压输电线路电晕估算大多采用拟合曲线法经验取值, 即根据已建线路在不同天气条件下的电晕实测结果与导线表面最大平均场强的关系, 拟合出不同天气条件下的电晕损失曲线。在新建线路导线选型时, 查阅电晕损失曲线, 便可估算不同导线方案的电晕损失。文献[16]对特高压交流输电线路电晕损耗进行了专门研究, 给出了锡盟—南京 1 000 kV 同塔双回路输电线路山东段在不同天气条件下的年平均电晕损耗值为 46.6 kW/km。文献[17]得出 1 000 kV 与 500 kV 在相同天气下的电晕损耗近似呈一定比例关系, 即 1 000 kV 近似为 500 kV 的 3.72 倍。

综合以上文献成果, 输电线路单回路年平均电晕损耗 1 000 kV 按 23.3 kW/km, 500 kV 按 6.3 kW/km。

2.2 特高压和超高压输电系统运行损耗比较

根据前文设定的输电方案, 将电压等级、额定输送容量、输送距离、负载率(基准值 60%)等参数代入输电系统运行损耗计算公式, 得出各输电方案的损耗情况如表 3 所示。可以看出, 同等输电能力下, 1 000 kV 损耗率最低, 500 kV 常规损耗率居中, 500 kV 紧凑损耗率最大, 其中, 500 kV 常规损耗率是 1 000 kV 的 1.25~1.79 倍, 500 kV 紧凑损耗率是 1 000 kV 的 1.77~2.92 倍。

2.3 特高压和超高压输电系统运行损耗构成情况

在变电站损耗、线路电阻损耗、线路电晕损耗中, 线路电阻损耗占比最大, 其中, 1 000 kV 占比 35%~75%, 500 kV 常规占比 57%~81%, 500 kV 紧凑占比 69%~91%, 输送容量越大, 线路电阻损耗占比越大; 输送距离越长, 变电站损耗占比越小。

1 000 kV 线路电阻损耗明显低于 500 kV 常规和 500 kV 紧凑, 是造成 1 000 kV 损耗低的主要原因。在输送容量相同的情况下, 电压越高, 电流越小, 从而损耗越小。图 2 是额定输送容量 8 000 MW、输送距离 600 km、负载率 60%时的输电系统损耗构成情况。

3 主要参数变化对特高压和超高压输电系统运行损耗的影响

3.1 额定输送容量变化对特高压和超高压运行损耗的影响(图 3)

以输送距离 600 km、负载率 60%为基准, 分析

表 3 同等输电能力下各输电方案损耗率

Table 3 Loss rate of each transmission scheme under the same transmission capacity

输送距离/km	额定输送容量/MW	1 000 kV	500 kV 常规	500 kV 紧凑
200	2 800	0.62%	1.08%	1.37%
	4 000	0.63%	1.05%	1.83%
	5 600	0.70%	1.08%	1.72%
	8 000	0.84%	1.05%	1.83%
	8 400	0.87%	1.08%	1.58%
400	2 800	1.13%	1.70%	2.71%
	4 000	1.15%	2.07%	2.62%
	5 600	1.29%	1.86%	2.71%
	8 000	1.15%	1.88%	2.62%
	8 400	1.16%	1.94%	2.71%
600	2 800	1.63%	2.54%	4.06%
	4 000	1.66%	2.62%	3.91%
	5 600	1.87%	2.78%	4.06%
	8 000	1.66%	2.81%	3.91%
	8 400	1.68%	2.68%	3.63%
800	2 800	2.14%	3.38%	4.15%
	4 000	2.18%	3.19%	3.86%
	5 600	2.14%	3.38%	4.62%
	8 000	2.18%	3.31%	4.68%
	8 400	2.21%	3.38%	4.84%
1 000	2 800	2.66%	3.83%	5.15%
	4 000	2.71%	3.96%	4.78%
	5 600	2.66%	3.96%	5.74%
	8 000	2.71%	3.96%	5.81%
	8 400	2.74%	4.02%	5.51%

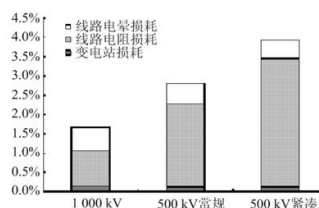


图 2 各输电方案损耗构成情况

Fig. 2 Composition of each transmission scheme

了额定输送容量变化对特高压和超高压运行损耗的影响, 如图 3 所示。可以看出, 特高压和超高压损耗率受额定输送容量变化影响较弱。这主要是因为当额定输送容量增大时, 对应的各输电方案的线路回路数及导线总截面相应增加, 使得运行损耗的增加幅度与额定输送容量的增加幅度相当, 导致损耗率受额定输送容量的影响不明显。

电池计数不成熟

铅酸蓄电池

2016年版的《[国家危险废物名录](#)》将2008年版中对“900-044-49”类危险废物的描述由“在工业生产、生活和其他活动中产生的废电子电器产品、电子电气设备, 经拆散、破碎、砸碎后分类收集的铅酸电池、镉镍电池、氧化汞电池、汞开关、阴极射线管和多氯联苯电容器等部件”修改为“废弃的铅酸电池、镉镍电池、氧化汞电池、汞开关、荧光粉和阴极射线管”。

铅蓄电池的污染主要是**重金属铅和电解质溶液的污染**

首先，从常识上说，以“铅污染”指责电动自行车是十分无知的。铅是一种低熔点、易回收的重要**有色金属**，特别是它处于蓄电池形态下，铅占电池重量高达70%，回收蓄电池已经成为重要的循环经济状态，全球的平均回收率高达96%，居各种有色金属之首，在中国，铅蓄电池被回收的比例更高，几乎达到100%，其主要的原因是回收环节的劳动力消耗远远小于回收价值，蓄电池回收变成一项有利可图的民间经济行为。

铅酸电池回收利用率很高，但这需要建立在正确合理的回收基础上。现阶段我国私自进行废旧铅酸电池回收的现象十分严重，这会带来较为严重的环境污染问题

特别是在回收环节上，一边是正规再生铅企业普遍“吃不饱”，另一边却是大量废旧电池流入“黑市”。业内助士以为，铅酸蓄电池在生产、回收环节都存在严重的铅、酸污染隐患，污染事件频发加重重金属污染。为有效落实生产者责任延伸制度，应该进一步完善相关政策律例、引入情况押金返还制度、对废旧铅酸蓄电池实施分类运输。

铅是一种对人体危害极大的重金属，铅及其化合物进入人体后，可能对神经、造血、消化、肾脏、心血管和内排泄等多个系统造成危害，甚至引起铅中毒。

我国是全球最大的铅酸蓄电池生产国和出口国。据发改委最新公布数据，2017年，我国金属铅的产量为472万吨，约占全球铅总产量的44%。废旧铅酸蓄电池回收乱象由来已久，早在2010年工信部公布的《电池行业重金属污染综合预防方案（征求意见稿）》就指出，欧、美、日等发达国家废旧铅酸蓄电池有组织的回收率已经跨越90%，而我国有组织的回收率不到30%。

据宁夏环保厅先容，今朝宁夏共有两家具有资质的铅酸蓄电池回收、处置企业，总处置能力为18万吨/年。据测算，宁夏每年发生废旧电池约8万吨，但这两家企业每年也只能回收五六万吨，相当一部分废旧电池还是流向了“黑市”。

记者调查发现，近年来不法作坊式铅回收点污染案件时有发生。如2017年6月，江苏南通通州区环保、公安等部门结合破获了5起不法倾倒废旧铅酸蓄电池废液的情况违法案件；2018年1月，山西省公安部分打掉一个以废旧铅酸蓄电池为原料，进行拆解、熔炼、销售铅锭“一条龙”的犯罪团伙。

记者调查发现，以下几方面原因致使在废旧铅酸蓄电池回收范畴形成“劣币驱逐良币”的场面。

第一，正规回收处置企业生产本钱高。杨文礼说，在固定资产投资中，公司环保设备占40%，加上运维、折旧等因素，环保本钱占再生铅回收总本钱的20%以上。而不法“小作坊”靠一把斧、一个炉子就够了，几近零本钱，这样他们便可以大幅进步收购价格，和正规企业抢生意。

第二，部分之间没有形成齐抓共管的协力。受访人士以为，废旧铅酸蓄电池面广量大，相关部分单打独斗难有作为，当前正规的汽车4S店废旧铅酸蓄电池回收相对较为规范，但汽车维修点结构散乱、范围纷歧、数量众多，这也加大了治理部分的监管难度。

第三，消费者回收意识弱。广东省循环经济协会负责人暗示，由于消费者对废旧铅酸蓄电池的危害性熟悉不足，也就不能积极主动地介入废旧铅酸蓄电池的回收处置，致使生活中很多电池回收设备形同虚设。别的，很多消费者对不法回收渠道也没有抵制意识。

充电模式