

我国水泥工业大气污染物 深度治理与展望

中国水泥协会 范永斌

2021-07-08 长春

目 录

- 1. 水泥工业发展现状**
- 2. 水泥生产工艺及排污分析**
- 3. 水泥工业环保政策与排放标准现状**
- 4. 水泥工业污染物深度治理技术**
- 5. 展望**

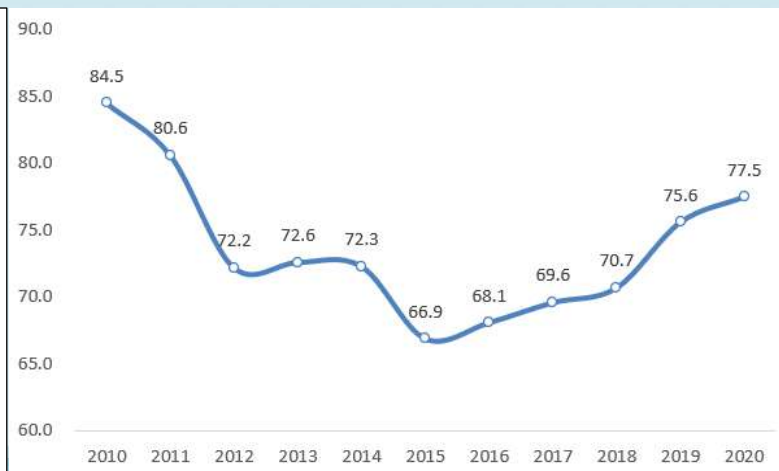
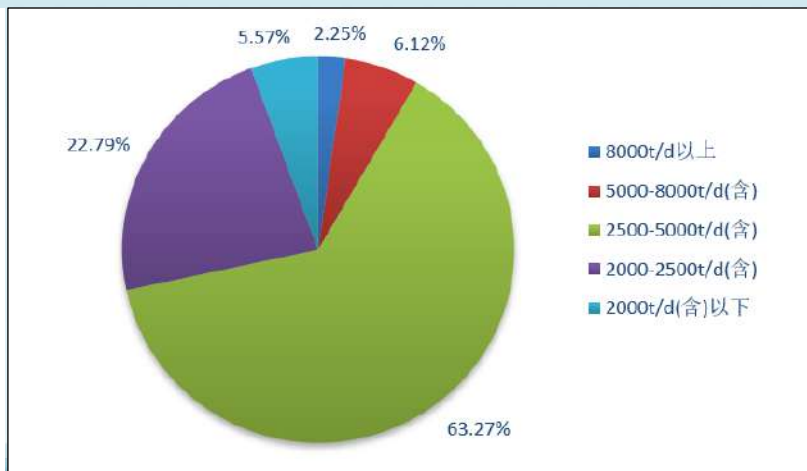
1. 水泥工业发展现状

- 截止2020年底，全国共有水泥企业数为3408家，粉磨站企业数2198个，熟料企业数1210个，其中纯熟料生产线86个。其中特种水泥企业255个（含生产普通+特种）。
- 2020年末，全国共有新型干法水泥生产线1609条，水泥熟料设计生产能力为18.3亿吨，实际运营能力超过20.1亿吨。熟料实际产量达到15.8亿吨，熟料产能利用率77.5%，水泥产量为23.8亿吨。占世界水泥产量57%。

水泥、熟料产量

规模分布

产能利用率



重点技术发展

- ∈ “二代水泥标准” 的技术的研发取得重大突破，50%的研发成果达到世界领先水平（新型干法技术集成创新）；
- ∈ 海螺集团白马山水泥厂，建成了我国首条水泥窑烟气CO₂捕集纯化示范项目（CCUS），5万吨/年；福建龙鳞水泥碳捕集年底即将投产。
- ∈ 水泥窑协同处置城市垃圾等废弃物、危险废弃物成套技术装备取得国家科学技术进步二等奖；已建成约260余条。
- ∈ 氮氧化物深度治理SCR脱硝技术在水泥企业开始工业化推广应用，目前已有20余条SCR脱硝运营，在建、拟建约50余条。



能耗及排放情况

水泥工业单位产品能耗和主要污染物排放呈逐年下降趋势，“十三五”期间氮氧化物降低约28%，颗粒物降低约16%；污染物排放浓度低于国家污染物排放标准限值要求。单位熟料煤耗由2016年的119千克标煤下降到2020年的108千克标煤（表中部分数据为调研估算值）。

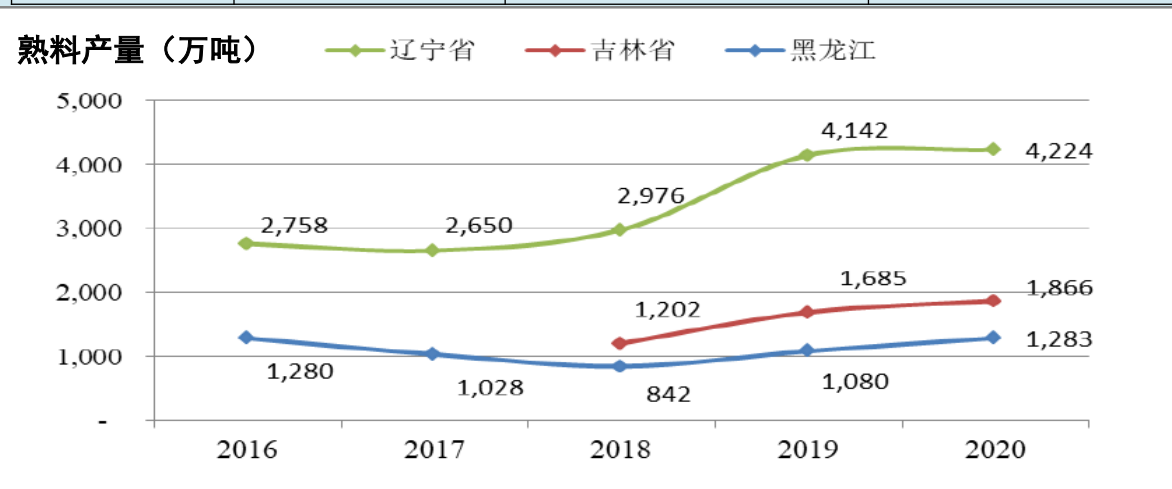
年份	2016	2017	2018	2019	2020
煤耗（亿吨标准煤）	1.71	1.57	1.56	1.67	1.70
电耗（亿千瓦时）	2020	1950	1860	2046	2080
水耗（亿吨）	5.95	5.8	5.5	5.9	6.1

污染物种类	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
氮氧化物（万吨）	222	196.9	191.7	170.6	139	128	119	102	100.1
二氧化硫（万吨）	35	38	47	41	17.3	17	17.2	18.7	19.1
颗粒物（万吨）	61.7	64.9	95.8	83.6	36.8	35	33.7	31.2	30.8
二氧化碳（亿吨）	11.57	12.15	12.71	11.91	12.17	12.3	12.45	13.28	13.62

东北三省水泥工业发展情况

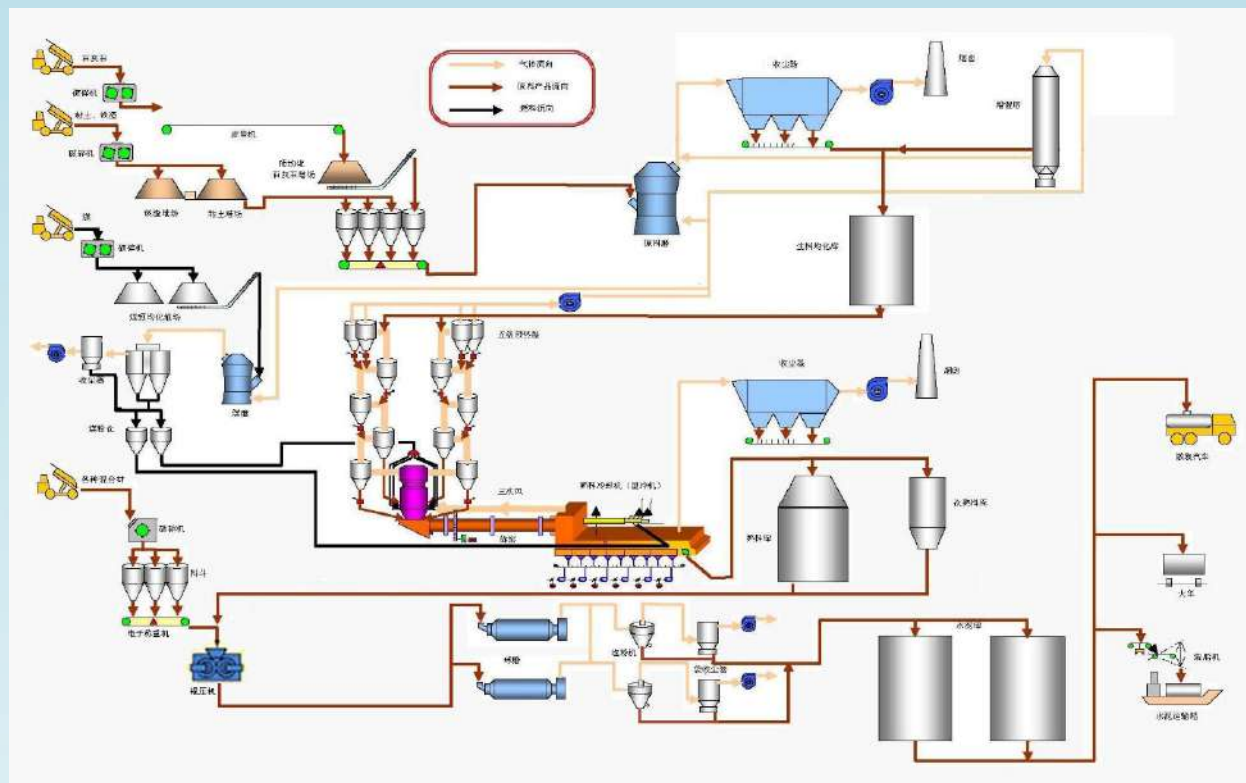
∈ 2020年末，东北三省共有新型干法水泥生产线98条，水泥熟料设计生产能力为1.03亿吨，实际生产能力超过1.24亿吨。2020年熟料产量合计 7373万吨，占全国熟料产量的4.7%。

省份	条数 (条)	熟料设计产能 (万吨)	占全国比重 (%)
辽宁省	50	5,475	2.98
吉林省	24	2,601	1.42
黑龙江	24	2,238	1.22
合计	98	10,314	5.62



◆ 2020年调研估算东三省（辽宁、吉林、黑龙江）水泥生产主要污染物粉尘、SO₂、NO_x排放量分别占全国水泥生产污染物放量约5%、3.9%、5.1%。

2. 水泥生产工艺及排污分析



水泥生产工艺示意图

主要生产工艺产物环节：

- 原料破碎——粉尘
- 生料制备（含生料配料）——粉尘
- 煤粉制备——粉尘
- 熟料烧成——粉尘、 SO_2 、 NO_x 、Hg等
- 水泥粉磨及包装（散装）——粉尘

3. 水泥工业环保政策与排放标准现状

- ◆背景—环保政策。政策出台有效的推动了水泥工业污染深度治理。
- ◆ 2013-2017年大气污染物防治行动计划(大气十条实施圆满收官)
- ◆ 2018年国务院发布《打赢蓝天保卫战三年行动计划》，各地方政府分别发布实施方案落实，开展深度治理。
- ◆ 2018年5月，全国生态环境保护大会确立习近平生态文明思想，认真贯彻落实。
- ◆ 2019年7月1日，《工业炉窑大气污染综合治理方案》对水泥工业熟料烧成系统大气污染物治理提出了明确要求。

水
泥

水泥熟料煅烧窑应配备低氮燃烧器，采用分级燃烧等技术，窑尾配备SNCR、SCR等脱硝设施；窑头、窑尾配备覆膜袋式除尘等高效除尘设施；窑尾必要时配备脱硫设施。

3. 水泥工业环保政策与排放标准现状

◆背景—环保政策

推动水泥行业进一步加
块开展深度治理！！

生态环境部——差异化绩效分级管理

中华人民共和国生态环境部办公厅

特 急

环办大气函〔2020〕340号

关于印发《重污染天气 重点行业应急减排措施制定技术指南 (2020年修订版)》的函

北京、天津、河北、山西、上海、浙江、江苏、安徽、山东、河南、陕西省(市)生态环境厅(局)：

现将《重污染天气重点行业应急减排措施制定技术指南(2020年修订版)》印发给你们，供开展重点行业绩效分级，制定差异化重污染天气应急减排措施参考。



(一)全面推行重点行业差异化减排措施。重点区域各省(市)应按照本指南，持续对重点行业企业开展绩效分级，在重污染天气期间实施差异化管理。评为A级和引领性的企业，可自主采取减排措施；B级及以下企业、非引领性企业，减排力度应不低于本技术指南要求。各地也可根据环境空气质量改善需求和实际污染状况，制定更为严格的减排措施；其他未实施绩效分级的行业，可由各省(市)生态环境主管部门，自行制定统一的绩效分级标准，实施差异化减排措施。

A级企业排放要求

水泥窑及窑尾余热利用系统：PM、SO₂、NO_x排放浓度分别不高于10、35、50 mg/m³，氨逃逸≤5mg/m³（窑尾基准氧含量10%）；烘干系统利用余热；其他产尘点：PM排放浓度不高于10 mg/m³

3. 水泥工业环保政策与排放标准现状

环保政策、法规出台\推动标准修订



推动水泥行业加快开展深度治理！！

有10多个省、市及地方纷纷提出制定或修订原有《水泥工业大气污染物排放标准》或制定大气污染物超低排放实施方案。

河北省制定地方标准，明确标准名称为《水泥工业大气污染物超低排放标准》，宁夏、山西、浙江等省明确提出《超低排放实施方案》。

各省、市制定的有代表性的《水泥工业大气污染物排放标准》均严于国家标准，见下表！

国家及地方	生产过程	生产设备	颗粒物	二氧化硫	氮氧化物 (以NO ₂ 计)	氟化物 (以总F计)	汞及其化合物	氨
国家 GB4915-2013	矿山开采	破碎机及其他通风生产设备	10/20					
	水泥制造	水泥窑及窑尾余热利用系统	20/30	100/200	320/400	3/5	0.05	8/10
		烘干机、烘干磨、煤磨及冷却机	20/30	400/600	300/400			
		破碎机、磨机、包装机及其他通风生产设备	10/20					
	散装水泥中转站及水泥制品生产	水泥仓及其他通风生产设备	10/20					
河北 DB13 2167-2020	矿山开采	破碎机及其他通风生产设备	10					
	水泥制造	水泥窑及窑尾余热利用系统	10	30	100	3	0.05	8
		烘干机、烘干磨、煤磨及冷却机	10	50	150			
		破碎机、磨机、包装机及其他通风生产设备	10					
	水泥制品生产	水泥仓及其他通风生产设备	10					
河南 DB41/1953-2020	水泥制造	水泥窑及窑尾余热利用系统	10	35	100	3	0.05	5
		烘干机、烘干磨、煤磨及冷却机	10	50	150			
		破碎机、磨机、包装机及其他通风生产设备	10					
	水泥制品生产	水泥仓及其他通风生产设备	10					
安徽 DB34/3576-2020	矿山开采	破碎机及其他通风生产设备	10					
	水泥制造	水泥窑及窑尾余热利用系统	10	50	100	3	0.05	8
		烘干机、烘干磨、煤磨及冷却机	10					
		破碎机、磨机、包装机及其他通风生产设备	10					
	散装水泥中转站、水泥制品生产	水泥仓及其他通风生产设备	10					
山东	矿山开采	破碎机及其他通风生产设备	10/20					
	水泥制造	水泥窑及窑尾余热利用系统	10/20	50/100	100/200/300	5	0.05	8
		烘干机、烘干磨、煤磨及冷却机	10/20	50/100	100/200/300			
		破碎机、磨机、包装机及其他通风生产设备	10/20					
	散装水泥中转站及水泥制品生产	水泥仓及其他通风生产设备	10/20					
海南 (首次发布)	矿山开采	破碎机及其他通风生产设备	10					
	水泥制造	水泥窑及窑尾余热利用系统	10	100	200	3	0.05	8
		烘干机、烘干磨、煤磨及冷却机	10	100	200			
		破碎机、磨机、包装机及其他通风生产设备	10					
	散装水泥中转站及水泥制品生产	水泥仓及其他通风生产设备	10					
重庆 DB50/656-1016	矿山开采	破碎机及其他通风生产设备	10/20					
	水泥制造	水泥窑及窑尾余热利用系统	15/30	100/200	250/350	3/5	0.05	8/10
		烘干机、烘干磨、煤磨及冷却机	20/30	300/600	300/400			
		破碎机、磨机、包装机及其他通风生产设备	10/20					
	散装水泥中转站及水泥制品生产	水泥仓及其他通风生产设备	10/20					

地方制定的《超低排放实施方案》

宁夏

颗粒物、二氧化硫、氮氧化物排放限值分别为 $10\text{mg}/\text{Nm}^3$ 、 $50\text{mg}/\text{Nm}^3$ 、 $100\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，所有排气筒颗粒物排放限值为 $10\text{mg}/\text{Nm}^3$ 、氨逃逸为 $8\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。2022年年底完成。

浙江

两步走。2022年底前，水泥窑及窑尾余热利用系统烟气颗粒物、二氧化硫、氮氧化物排放浓度分别不高于10、50、 $100\text{mg}/\text{m}^3$ ；2025年6月底前，水泥窑及窑尾余热利用系统烟气颗粒物、二氧化硫、氮氧化物排放浓度分别不高于10、35、 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 。

山西

2024年12月完成改造，10、30、 $50\text{mg}/\text{Nm}^3$ ；氨逃逸 $\leq 5\text{mg}$ ；要求建设一体化管、控、治一体化管（监）控平台。

标准和环保政策要求

国家现行标准《水泥工业大气污染物排放标准》GB4915-2013

$PM \leq 20 \text{mg/Nm}^3$
 $SO_2 \leq 100 \text{mg/Nm}^3$
 $NO_x \leq 320 \text{mg/Nm}^3$

先进技术排放标准

$PM \leq 10(5) \text{mg/Nm}^3$
 $SO_2 \leq 50(35) \text{mg/Nm}^3$
 $NO_x \leq 100(50) \text{mg/Nm}^3$

政策的制（修）定和排放标准的加严，推动了污染治理技术创新，同时倒逼水泥企业实施生产过程中对大气污染物实施深度治理，各大企业（集团）积极开展节能减排改造，并取得了显著成效。

$PM \leq 30 \text{mg/Nm}^3$
 $SO_2 \leq 200 \text{mg/Nm}^3$
 $NO_x \leq 400 \text{mg/Nm}^3$

排放限值

特别排放限值

先进技术目标值

污染物 国别		颗粒物	SO ₂	NO _x
中国		一般 30 重点 20	一般 200 重点 100	一般 400 重点 320
美国		新源~4 现有源~14	~80	~300
欧盟BAT		10 - 20	50 - 400	200 - 450
欧洲国家	德国	20	350	500
	其他	30-50 下限为一些企业的许可证要求	200-500 下限为一些企业的许可证要求	现有 800 新建 500
日本		一般地区 100 特殊地区 50	K值法	按规模划分，大型500；小型700

国标GB4915-2013主要污染物与西方发达国家对比

地方标准与国外标准比较更加严格！

企业	颗粒物	SO ₂	NO _x
现有企业 & 新建企业	30	200	400
	达到欧洲国家平均的标准或许可证限值水平	严于欧洲、日本等绝大多数国家标准，仅略宽松于美国最新标准	
重点地区企业实施特别排放限值	20	100	320
	达到欧洲最严格的标准（如德国），较美国最新标准宽松	达到国际最先进的污染控制水平（美国最新标准）	

4. 水泥工业大气污染物深度治理技术

末端治理技术——生产过程中，在工艺流程末端加装大气污染物治理设施技术

粉尘治理技术（PM10、PM2.5）：

电除尘技术——水泥行业逐步减少使用，淘汰技术？

电袋复合除尘技术——改造过渡技术（利用原有设施，投资、成本等）

袋式除尘技术——实现深度治理的主要技术，虑料技术进步。先进的纤维滤料、金属纤维滤料等。

脱硫技术(SO₂)：

湿法脱硫技术——建设烟气脱硫塔（石灰法脱硫或窑灰脱硫，设施一次性投资高）

复合脱硫技术——粉剂+水剂脱硫（脱硫成本高，设备腐蚀问题）

干法脱硫技术——粉剂脱硫（效率低，成本也偏高） 淘汰技术？

4. 水泥工业大气污染物深度治理技术

脱氮（硝）技术（NO_x）：

SNCR技术——水泥行业大量使用（成熟技术，投资低）。

SCR技术——新研发技术，正在推广应用。

SNCR+SCR技术——实现深度治理的主要技术路线，技术难点在于解决催化剂适应性问题，能长期在水泥烟气下稳定高效运行。

还原炉技术——引进洪堡技术，在窑尾设置还原炉系统还原氮氧化物，开始推广。

脱汞（Hg）技术：

标准中已经将汞的排放限值给出。

中国在2018年加入联合国《汞公约（水俣公约）》，启动落实水泥行业控汞工作。

开展水泥行业生产过程中汞减排的技术研发工作。

水泥工业SCR脱硝系统技术路线介绍

项目	高温高尘（海螺院）	高温中尘（西矿）	高温低尘（远志）	中温中尘（建材院）	低温低尘（天津院）
烟气温度	280-350℃	280-350℃	280-350℃	180-220℃	80-130℃
布置位置	预热器C1出口与余热锅炉之间			余热锅炉后	窑尾除尘器后
系统组成	SCR脱硝塔	电除尘+SCR脱硝塔	金属滤袋电袋复合+SCR脱硝塔	SCR脱硝塔	SCR脱硝塔
占地面积	较大	大	大	较大	中
施工难度	较难	难	难	较难	中
运行风险	系统稳定性差 催化剂易堵塞（海螺）	运行稳定(2年) 相对风险较低(8家)	金属滤袋清灰要求高 (案例少，1家)	催化剂的抗硫性要求高 (案例少，南方水泥1家)	无合适的催化剂（开发，工业试验）
投资费用	稍高	高	最高	很高	高
脱硝反应区粉尘浓度	~100g/Nm3	~30g/Nm3	~0.02g/Nm3	~50-60g/Nm3	~0.02g/Nm3

清洁生产技术——生产过程中的减排技术



5. 展望

中国水泥工业工艺技术装备水平已居世界领先地位，环保技术装备和环保设施建设水平也可以基本保障水泥工业对大气污染物的治理要求，实施水泥工业大气污染物深度治理（超低排放？）已经成为水泥工业未来发展必然选择。

- ◆ 基于我国水泥生产、消费量大特点，为有效控制污染物排放总量，实现环境保护目标，必须有技术经济可行的先进成熟技术支撑，通过降低排放强度（排放浓度），才能实现水泥工业大气污染物深度治理（超低排放？）。
- ◆ 粉尘治理技术已经成熟，完全可以保障水泥工业对粉尘污染物的深度治理（超低排放？）。
- ◆ 硫化物排放治理技术也已经成熟，可以保障水泥工业对硫化污染物的深度治理。
- ◆ 实施氮氧化物深度治理，SCR技术是关键，SCR技术路线有多种，除了高温中尘SCR技术路线外（西矿技术有2年的运行实践），目前其他路线都缺乏长期运行实践的检验，仍需要长期运行实践检验证明。
- ◆ 催化剂的选择是关键。仍有问题需要解决，机械强度、堵塞、低温段活性、催化剂中毒等问题，仍需要深入的研究解决。
- ◆ SCR技术路线选择，要依据企业的生产原燃料情况，工艺技术装备水平，投资资金、消耗成本、企业管理水平等综合因素考虑选择。
- ◆ 水泥工业汞排放的治理已经提到日程上来（标准汞排放浓度 $0.05\text{mg}/\text{Nm}^3$ ），加强对汞排放的管控。
- ◆ 水泥工业协同处置废物（替代燃料），对氯化物、氟化物、VOCs治理也要提到日程上了，加强环境管控。
- ◆ 未来水泥企业的环保成本将逐步增加，环境成本内部化。

Thank You



谢谢

联系电话：13701071767

邮 箱：fanyb63@163.com