



建筑材料工程技术专业教学资源库

Building Materials Engineering Technology Specialities Resource Library

在回转窑动脑筋是走入了脱硝误区

建材新技术培训资源包建设组

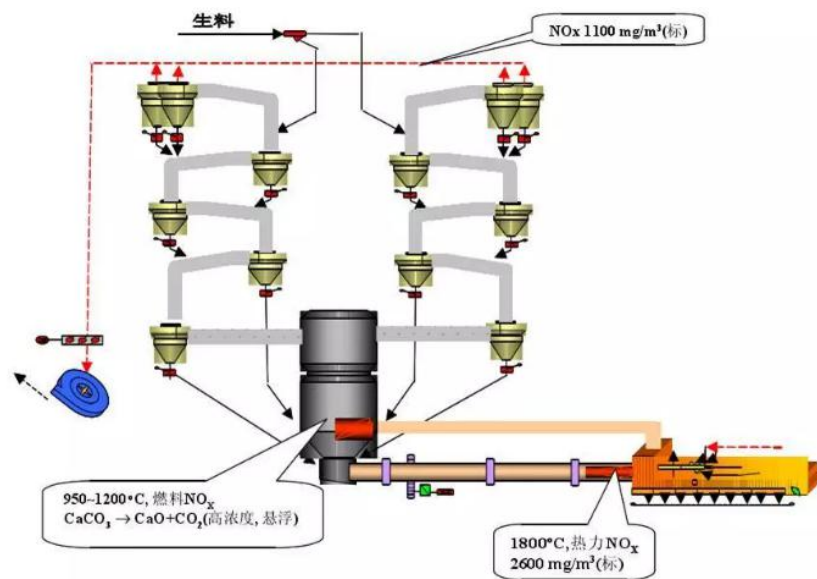
2019年6月

在回转窑动脑筋是走入了脱硝误区

来自：西南科技大学 齐砚勇

近日，西南科技大学副教授、国内著名的水泥工艺专家齐砚勇，在“2019中国水泥行业超洁净排放技术交流大会”上表示，现在很多水泥企业对氮氧化物减排十分关心，但是如果过多在回转窑动脑筋，降低燃料型NO_x，其实是走入了脱硝误区，氮氧化物减排应更多的从分解炉入手，降低热力型NO_x的产生。

齐教授介绍，熟料生产线的氮氧化物的产生主要两种形式：燃料型氮氧化物及热力型氮氧化物。



熟料生产线NO_x产生形式

据齐教授的多年在各水泥企业的实测数据及研究表明，分解炉的NO_x含量与O₂及CO含量有关，一般来说O₂含量低，CO含量高，则NO_x含量低。

(以下为齐教授在部分厂家的分解炉出口及烟室实测数据)

表 1 部分厂家回转窑烟气成分^①

厂名 ^②	规模/ (t/d) ^③	O ₂ /% ^④	CO/ppm ^⑤	NO/ppm ^⑥	NO ₂ /ppm ^⑦	SO ₂ /ppm ^⑧
FMR ^⑨	2500 ^⑩	0.04~1.3 ^⑪	1958~10000 ^⑫	6 ^⑬	0 ^⑭	超 ^⑮
PETH ^⑯	4000 ^⑰	0 ^⑱	>1000 ^⑲	- ^⑳	- ^㉑	0 ^㉒
XF ^㉓	2500 ^㉔	0.39 ^㉕	>1000 ^㉖	600 ^㉗	12 ^㉘	- ^㉙
AXZL ^㉚	5000 ^㉛	2.35 ^㉜	120 ^㉝	177 ^㉞	9.5 ^㉟	- ^㊱
BCZL ^㊲	5000 ^㊳	0.25 ^㊴	7687 ^㊵	14 ^㊶	0.4 ^㊷	- ^㊸
DS ^㊹	5000 ^㊺	0.6 ^㊻	5000 ^㊼	0 ^㊽	0 ^㊾	- ^㊿
		1.63 [㋀]	867 [㋁]	173 [㋂]	0.4 [㋃]	- [㋄]
ES-3 [㋅]	5000 [㋆]	0.6 [㋇]	600 [㋈]	649 [㋉]	1.4 [㋊]	15.06 [㋋]
ES-4 [㋌]	5000 [㋍]	0.52 [㋎]	1845 [㋏]	316 [㋐]	1.2 [㋑]	15.54 [㋒]
		0.13 [㋓]	7468 [㋔]	51 [㋕]	0.2 [㋖]	12.01 [㋗]
ES-5 [㋘]	5000 [㋙]	0 [㋚]	>20000 [㋛]	0 [㋜]	0.1 [㋝]	- [㋞]
		0.31 [㋟]	6223 [㋠]	13.71 [㋡]	31 [㋢]	0.2 [㋣]
FQLS [㋤]	3200 [㋥]	0.4 [㋦]	>10000 [㋧]	204~369 [㋨]	224~387 [㋩]	13~345 [㋪]
YHXX [㋫]	2500 [㋬]	3.26 [㋭]	3968 [㋮]	1068 [㋯]	- [㋰]	- [㋱]
WYJB [㋲]	2500 [㋳]	0.14 [㋴]	1345 [㋵]	312 [㋶]	- [㋷]	- [㋸]
YBRD [㋹]	5000 [㋺]	0.58 [㋻]	1912 [㋼]	352 [㋽]	- [㋾]	- [㋿]
CQJJ1 ^㊀	2500 ^㊁	1.38 ^㊂	360 ^㊃	600 ^㊄	- ^㊅	- ^㊆
		0.69 ^㊇	12083 ^㊈	0 ^㊉	0.3 [㊊]	727 [㊋]
CQJJ2 [㊌]	2500 [㊍]	3.05 [㊎]	超(min-4764) [㊏]	0 [㊐]	0.2 [㊑]	459 [㊒]
LXHS [㊓]	5000 [㊔]	0.21 [㊕]	11000 [㊖]	52 [㊗]	- [㊘]	- [㊙]
XCCYX [㊚]	5000 [㊛]	0.92 [㊜]	465 [㊝]	395 [㊞]	- [㊟]	- [㊠]
XCCR [㊡]	5000 [㊢]	0.03 [㊣]	12000 [㊤]	16 [㊥]	- [㊦]	- [㊧]
SCNN [㊨]	2500 [㊩]	0.08 [㊪]	51000 [㊫]	7 [㊬]	0.1 [㊭]	4.14 [㊮]
GZBJY [㊯]	- [㊰]	0.02 ^㊱	22660 ^㊲	0 ^㊳	0 ^㊴	- ^㊵
JYZL ^㊶	3200 ^㊷	6.8 ^㊸	0 ^㊹	4729 ^㊺	1207 ^㊻	- ^㊼
DJYLFJ ^㊽	3200 ^㊾	4.0 ^㊿	0 [㋀]	1400 [㋁]	100 [㋂]	- [㋃]

表 2 实测分解炉出口烟气成分数据^①

项目 ^②	规模 (t·d ⁻¹) ^③	O ₂ /% ^④	CO/ppm ^⑤	NO/ppm ^⑥	NO ₂ /ppm ^⑦	SO ₂ /ppm ^⑧
FMR ^⑨	2500 ^⑩	1.83 ^⑪	≥20000 ^⑫	0 ^⑬	1.9 ^⑭	123 ^⑮
LLYD ^⑯	2500 ^⑰	4.77 ^⑱	5041 ^⑲	2 ^⑳	0.3 ^㉑	55 ^㉒
MSXN ^㉓	2500 ^㉔	0.66 ^㉕	≥20000 ^㉖	0 ^㉗	0.5 ^㉘	166 ^㉙
PETH ^㉚	4000 ^㉛	4.24 ^㉜	213 ^㉝	300 ^㉞	1.6 ^㉟	0 ^㊱
PEXN ^㊲	2500 ^㊳	2.1 ^㊴	557 ^㊵	671 ^㊶	1.8 ^㊷	0 ^㊸
XF ^㊹	2500 ^㊺	1.58 ^㊻	581 ^㊼	720 ^㊽	0 ^㊾	- ^㊿
AXZL [㋀]	5000 [㋁]	1.7 [㋂]	506 [㋃]	129 [㋄]	11.5 [㋅]	- [㋆]
BCZL [㋇]	5000 [㋈]	0.66 [㋉]	506 [㋊]	129 [㋋]	11.5 [㋌]	- [㋍]
DS [㋎]	5000 [㋏]	0.68 [㋐]	2751 [㋑]	247 [㋒]	1.1 [㋓]	- [㋔]
ES-3 [㋕]	5000 [㋖]	0.15 [㋗]	0.3358 [㋘]	400 [㋙]	0.4 [㋚]	42 [㋛]
MZAD [㋜]	2500 [㋝]	2.1 [㋞]	557~20000 [㋟]	671 [㋠]	1.8 [㋡]	0 [㋢]
FQLS [㋤]	3200 [㋥]	1.21 [㋦]	240 [㋧]	244 [㋨]	256 [㋩]	0 [㋪]
KTL [㋫]	2500 [㋬]	0 [㋭]	11259 [㋮]	8 [㋯]	8 [㋰]	316 [㋱]
QXHR [㋲]	2500 [㋳]	1.28 [㋴]	637 [㋵]	282 [㋶]	280 [㋷]	88 [㋸]
XNYH [㋹]	2500 [㋺]	3.26 [㋻]	3968 [㋼]	1068 [㋽]	- [㋾]	- [㋿]
WYJB ^㊀	3200 ^㊁	0.14 ^㊂	1345 ^㊃	312 ^㊄	- ^㊅	- ^㊆
XCCRD ^㊇	2500 ^㊈	0.58 ^㊉	1912 [㊊]	352 [㊋]	- [㊌]	- [㊍]
CQJJ1 [㊎]	2500 [㊏]	1.38 [㊐]	360 [㊑]	600 [㊒]	- [㊓]	- [㊔]
CQJJ2 [㊕]	2500 [㊖]	0.21 [㊗]	11000 [㊘]	52 [㊙]	- [㊚]	- [㊛]
LXHS [㊜]	5000 [㊝]	0.92 [㊞]	465 [㊟]	395 [㊠]	- [㊡]	- [㊢]
XCCYC [㊤]	3200 [㊥]	0.03 [㊦]	12000 [㊧]	16 [㊨]	- [㊩]	- [㊪]
XCCEC [㊫]	3200 [㊬]	0.69 [㊭]	4018 [㊮]	203 [㊯]	- [㊰]	- ^㊱
		2.99 ^㊲	805 ^㊳	635 ^㊴	- ^㊵	- ^㊶
HRHSH ^㊸	3200 ^㊹	0.6 ^㊺	1963 ^㊻	194 ^㊼	- ^㊽	- ^㊾
		0.09 ^㊿	17712 [㋀]	42 [㋁]	- [㋂]	- [㋃]

厂家	ZJXN	LHNF	SYNF	ARNF	
烟室	O ₂ (%)	0~0.19	0~0.36	0~0.08	0~0.58
	CO(ppm)	16654~85984	11000~42000	9600~46000	0~30000
	NO(ppm)	0	0	0~344	0
	温度(℃)	1253	1250	1100	-
	负压(pa)	70~200	-	-	184~264
分解炉	O ₂ (%)	0~0.34	0.08~0.3	0.13~0.26	0.53~0.79
	CO(ppm)	1395~42273	8100~20000	910~30000	894~1519
	NO(ppm)	4~403	37~436	6~170	419~435
	温度(℃)	845~853	965	883	-
	负压(pa)	570	-	1137~1187	-



厂家	LYNF	CDNF	ZXGZB	GDHF1#	
烟室	O ₂ (%)	3.16~4.27	0.57~3.77	0.2~0.4	0~0.16
	CO (ppm)	0	246~2963	12000~62439	14856~36071
	NO (ppm)	1298~1436	266~654	0	0~13
	温度 (°C)	1097	1150	1155	1090
	负压 (pa)	-	-	178~251	418~556
分解炉	O ₂ (%)	0.09~0.17	0.24~0.71	0~0.71	0.03~0.27
	CO (ppm)	1903~10285	815~1900	1650~28000	3726~17417
	NO (ppm)	20~47	316~351	0~620	16~177
	温度 (°C)	880	896	843~870	851
	负压 (pa)	1079~1180	-	680	1550~1897

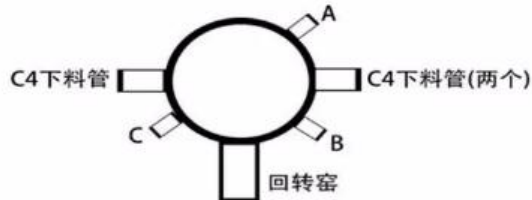
厂家	GDHF2#	WXQLS	JLNF1#	JLNF2#	
烟室	O ₂ (%)	0~0.09	0.02~0.13	2.37~4.11	5.3~5.82
	CO (ppm)	8032~31041	9311~84450	3~125	0
	NO (ppm)	0~18	0~7	429~513	616~739
	温度 (°C)	1075	1133~1148	-	1006~1073
	负压 (pa)	594~656	-	-	248~272
分解炉	O ₂ (%)	0.07~0.97	0.04~0.09	1.56~2.49	0.09~1.22
	CO (ppm)	1065~4499	23808~38528	674~1223	197~30640
	NO (ppm)	219~765	0	426~475	66~932
	温度 (°C)	868	874	853	860~912
	负压 (pa)	913~1143	1050	624~665	664~803

厂家	SCLS	CQQP	DAYF	LYZL	
烟室	O ₂ (%)	0.06~0.12	0.04~0.11	0.04~0.3	0.04~0.11
	CO (ppm)	2246~3855	8213~15682	151~13830	1063~16606
	NO (ppm)	16~68	160~280	7~57	19~655
	温度 (°C)	1150	1224	1176	1290
	负压 (pa)	400~460	190~303	384~442	300~400
分解炉	O ₂ (%)	0.05~0.06	1.04~1.48	0.37~0.49	0.18~1.31
	CO (ppm)	1516~1742	273~394	0~25	364~2932
	NO (ppm)	12~15	517~532	220~236	229~367
	温度 (°C)	875	868	870	842~875
	负压 (pa)	1177~1209	588~608	733~858	880~1022

以上四图为部分厂家分解炉出口、烟室实测数据

表 1. 测定数据

	O ₂ (%)	CO (ppm)	NO (ppm)	温度(°C)
分解炉出口	2.33	552	100	
分解炉中部	4.26	1296-3000	667	
三次风管	17.29	153	31	978



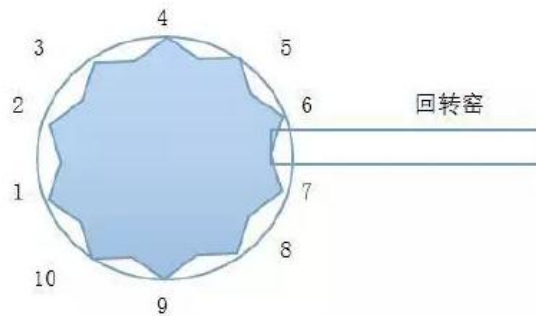
项目	温度 (°C)	切向速度 (m/s)	轴向速度 (m/s)	静压 (Pa)	O ₂ (%)	CO (ppm)	NO (ppm)
A	1243	12.3	7.6	-600			
B	1112	2.6	4.5	-770	1.6	6550	44
C	1080	3.1	7.3	-885	2.25	13049	66

案例1：分解炉出口O₂含量反映出炉内燃烧状况，分解炉出口CO出现波动反映出送煤风不稳定。

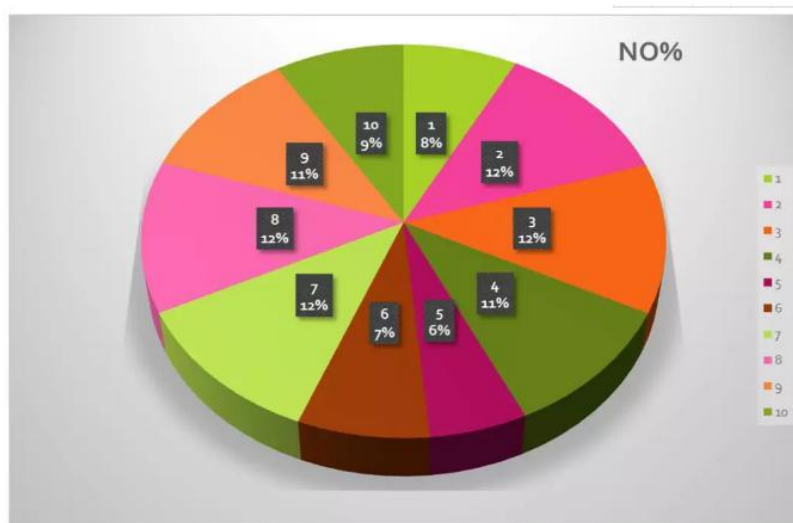
	O ₂ (%)	CO (ppm)	NO (ppm)	温度(°C)
分解炉出口	2.92	322	145	885
分解炉中部	4.47	389	792	
三次风管	11.68	153	31	965

案例2：对比中部和出口NO_x含量可得出：煤粉在分解炉中部以上不完全燃烧产生较多CO，还原部分NO_x，导致出口NO_x含量减少。

测点	O ₂ (%)	CO (ppm)	NO (ppm)
1	1.59	1122	387
2	1.25	346	624
3	1.23	605	615
4	1.2	229	535
5	1.86	105	278
6	1.18	1292	374
7	1.38	1426	586
8	1.2	1185	625
9	1.26	796	561
10	1.5	1298	439
分解炉下部	4.71	2812	625
烟室	1.9	1926	352



案例3：煤粉在炉内分散较差，出现局部不完全燃烧和局部高温，温度高达1273℃。



案例3之分解炉喷氨水个点的NO含量所占百分比



齐教授的观点，减排氮氧化物主要有几个手段：煤炭选择，SNCR 技术，空气分级，燃料分级和炉型炉型改造。炉型改造需要做实验室的数值模拟，根据齐教授的实验室数值模拟结果，随着喷煤管位置的变化，分解炉锥部所形成的中心环流区逐渐增大。随着喷煤管位置的变化，送煤风受三次风以及窑内烟气的影响逐渐变小，进而在锥部形成大的环流区。随着喷煤管位置的变化，送煤风风向与三次风风向成垂直趋势，即燃料刚进入到炉内会越晚接触到高氧区域。

齐教授还认为，三次风对氮氧化物的含量有较大影响，三次风温的提高可以大幅度提高炉内温度，使燃料得到充分燃烧。提高三次风温以及增加尾煤喂煤量可以显著降低 NO 排放。但是如果喷煤管距离三次风管较近，造成 NO 排放增多。

现有的 SNCR 技术中，需要注意喷氨细节，氨水在断面分布要均匀，这样不但脱硝效果好，还能降低氨水用量。

对于当前工艺中普遍存在的结皮问题，齐教授也简单进行了概述，使用高硫煤炭，煤粉过细，用煤量窑多炉少容易结皮。喷煤管紧挨三次风进口，三次风管位置易造成局部高温，产生结皮。