

水泥科技

2
2016

SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CEMENT

粉体节能设备



DS、HES高效选粉机

快速沸腾烘干系统



HFCG辊压机



ATT
超细微粉分级机

主办单位：

合肥水泥研究设计院

Email: snkj@hcrdi.com



合肥水泥研究设计院 中建材（合肥）粉体科技装备有限公司

★公司网址：<http://www.ftgc.cn>

中建材（合肥）粉体科技装备有限公司（简称中建材粉体），前身为合肥水泥研究设计院粉磨研究所。中建材粉体具有60多年的专业历程和实践经验，是国内专业从事粉体工程技术研究、装备研发制造与工程设计一体化的国家高新技术企业，在中国水泥行业粉磨领域占据首席位置，在国内水泥行业市场占有率超过70%。主要从事粉体技术及装备的研究、开发、制造、销售和推广应用。公司现有2个产业基地、1个省级粉体工程技术研究中心和1个粉体检测中心，技术涵盖原料烘干、粉磨、选粉、分级、粉体工程微米加工、磨内筛分等先进技术，并形成了快速沸腾烘干系统、辊压机、高效选粉机、ATT大型亚微米微粉分级机等系列装备。产品应用覆盖水泥、铁矿石选矿、铝矿选矿、非金属矿微粉等众多领域。公司先后承担国家重大科技攻关项目、国家“863计划”引导项目等40多项。获得国家科技进步二等奖4项、三等奖1项，省部级奖40多项。公司多类产品获得“中国名牌”、“安徽省名牌”、“中国建材行业名牌”和“国家级新产品”等称号。

公司倡导和弘扬“以人为本、以创新求发展”的公司文化。以精湛的技术、熟练的业务、上乘的质量，重合同、守信用，热情周到的为客户服务，诚挚的希望与业主携手合作，共展宏图。



▲ HFCG 系列辊压机

中国名牌产品。历经国家“七五”、“十一五”和“863计划（引导项目）”等重大攻关取得的研究成果，2项成果获国家科技进步二等奖。产品应用覆盖水泥、铁矿石选矿、铝矿选矿、非金属矿微粉等众多领域，市场占有率60%以上。

粉磨系统工艺设计 ▶

以雄厚的专业实力和先进的技术装备作保障，完成国内外数百项水泥及生料粉磨系统、煤粉制备系统、水泥粉磨站和各类微粉生产线工艺设计和设备成套，18项设计工程获优秀工程设计奖。



中建材（合肥）粉体科技装备有限公司

地址：安徽省合肥市包河区望江东路60号

邮编：230051

总经理：王学敏 电话/传真：0551-63439350

副总经理兼经营部部长：王志凌

电话/传真：0551-63439608



▲ 快速沸腾烘干系统

取得3项验收成果，1项获国家科技进步三等奖。具有节煤或利用劣质煤实现快速烘干的增产节能运行效果。用于浙江宁波新港年产60万吨矿渣生产线的 $\Phi 3.2\text{m} \times 25\text{m}$ 新型高效节能烘干系统，生产能力和系统零排放等指标居于先进水平。



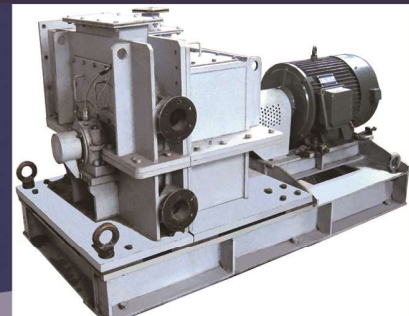
▲ 高细高产磨、高效筛分磨、煤磨、筛分磨、矿渣微粉磨、磨内喷水系统

国家“六五”重大攻关成果，取得6项验收成果，2项获国家科技进步二等奖。适用于球磨机的增产节能运行。配套 $\Phi 4.2\text{m} \times 13\text{m}$ 水泥磨的挤压联合粉磨系统单机最大产量达220t/h，节能30%。 $\Phi 3.2\text{m} \times 13\text{m}$ 矿渣磨（420~450m²/kg）产量达30t/h。



▲ DS组合式高效选粉机、HES型高效选粉机

安徽省名牌产品。取得3项鉴定验收成果。承担完成国内10余条100~200万t/a大型水泥粉磨生产线及年产36万吨I级粉煤灰生产线的设计配套；承担完成沙特、巴基斯坦、印尼、智利等国外粉磨系统、粉磨站的设计和装备配套。



▲ ATT 亚微米微粉分级机

部级基金验收成果。最细分级粒度达 $d_{97}=2\mu\text{m}$ ，分级效率90%以上。成功取代国外设备用于国内超细水泥、碳酸钙微粉生产，并出口叙利亚等国。

水泥科技

(季刊 1988年创刊)

2016年改版第2期

12月15日出版

主办单位：合肥水泥研究设计院

编委会

名誉主任：周云峰

主任：包玮

副主任：朱大来、丁奇生

主编：陆树标

委员：(按姓氏笔划排序)

王仕群 王学敏 毛志伟 邓小林

朱文兵 许涛 邱文斗 何宏涛

张平洪 张自力 陆树标 武青山

林红星 周啸 郑青 侯贵斌

施德祥 姚强 熊焰来

本期编辑：陆树标 解姗姗

编辑出版：《水泥科技》编辑部

地址：合肥市望江东路60号

邮编：230051

编辑部电话：(0551) 63439575

广告部电话：(0551) 63439575

传真：(0551) 63439575

网址：<http://218.22.22.203/>

投稿邮箱：snkj@hcrdi.com

目次

- 使用特殊煤煨烧水泥熟料的主要技术措施
..... 包先法 /1
- 辊压机终粉磨系统在老厂改造中的应用
臧正安, 王学敏, 王虔虔, 王建华 /10
- 水泥窑SNCR脱硝系统喷枪的选择和布置
.....廖玉云, 毛志伟, 程群 /16
- 3000t/d熟料烧成系统的技术改造及优化
.....黄成平 /22
- 对俄罗斯总承包项目的几点体会
.....洪云 /27
- 大跨度管桁架安装技术的研究与应用
.....林红星, 王浩 /33
- 石灰粉喷桩处理软土地基的应用与技术分析
.....蒋少钦 /42
- 生料均化库异常裂缝的分析与处理
.....刘万常 /46
- 熟料库加固修复的设计及施工组织方案
.....张长根, 董哲武 /52
- 水泥厂变电站自动化运用中的问题
.....叶凤芹, 赵龙 /58
- 水泥厂给水管材的比较和选用
.....孙传红 /61
- 冬季袋式除尘器稳定运行的措施探讨
.....王林涛 /64

使用特殊煤煅烧水泥熟料的主要技术措施

包先法

(合肥水泥研究设计院, 安徽 合肥 230051)

水泥工业是用煤大户, 窑炉所用燃料主要是煤, 随着优质煤炭资源日益稀少, 用煤品质会越来越差, 煤质变化必然会影响水泥熟料的煅烧过程、热耗、质量以及水泥窑内工况的稳定, 熟料烧成技术的发展必须要适应这一特殊要求。我国煤炭资源分布主要为南方低挥发分煤资源丰富、北方烟煤资源丰富。随着水泥工业技术的发展, 水泥熟料烧成对煤质的要求已经大大放宽, 能够使用一些特殊煤种, 如低挥发分煤、无烟煤、褐煤、以及热值不低于 4000 kcal/kg 的劣质煤等等。

1 煤的分类与燃烧

1.1 煤的分类

煤碳的等级是根据其形成的地质年代确定和划分的。煤炭可分成不同的等级, 以用来区别从纤维素转变成石墨的过程中, 各种化学组分的变化过程。煤生成的地质年代越久, 变质程度越深, 挥发分含量越低。煤的地质年代特征见表 1, 中国煤的分类方案, 见表 2。

表 1 煤的地质年代

地质时期		近以平均年龄	等 级	描 述	备 注
时代	时世	×10 ⁸ 年	无烟煤	变质程度较深, 含碳量较高, 高达 90% 以上, 可燃基含氢较低<4%。硬度高, 光泽强。	煤的等级主要与沉积物的年龄有关, 煤的级别越高, 其年龄越长。煤可以简单地按照它的年龄(以百万年为单位)来划分成不同的等级。
上古生物	石炭纪	250	半无烟煤和无烟煤	变质程度较深, 呈属烟煤、但加热时不产生胶质, 燃烧时火焰短。	
中生代	二叠纪	210	烟煤	中等变质程度, 加热时具有一定的胶质, 发热量较无烟煤低。	
	三叠纪	180	烟煤		
	侏罗纪	150	次烟煤和烟煤	呈褐色, 含水高、发热量低、含有数量不等的原生腐质酸, 含氧量高达 15%~30%, 化学活性强、易风化破裂、热稳定性差。	
	白垩纪	100	褐煤和次烟煤		
第三纪	始新代	60	褐煤		
	渐新代	40	褐煤		
	中新代	20	泥煤		
第四纪	更新代	1			

表 2 中国煤的分类方案

大类别	小类别	分类指标		大类别	小类别	分类指标	
名称	名称	V ^r , %	Y, mm	名称	名称	V ^r , %	Y, mm
无烟煤		0~10		气煤	1号肥气煤	>30~37	>9~14
贫煤		>10~20			2号肥气煤	>30~37	>14~25
瘦煤	1号瘦煤	>14~20			1号煤气	>37	>5~9
	2号瘦煤	>14~20			2号煤气	>37	>9~14
					3号煤气	>37	>14~25
焦煤	瘦焦煤	>14~18	>12~25	弱粘煤	1号弱粘煤	>20~26	0~3
	主焦煤	>18~26	>12~25		2号弱粘煤	>26~37	0~9
	焦瘦煤	>20~26	>8~12	不粘煤		>37	粉状
	1号肥焦煤	>26~30	>9~14				
	2号肥焦煤	>26~30	>14~25	长焰煤		>40	0-5
肥煤	1号肥煤	>26~37	>25~30	褐煤			
	2号肥煤	>26~37	>30				
	1号焦肥煤	≤26	>25~30				
	2号焦肥煤	≤26	>30				
	气肥煤	>37	>25				

1.2 煤粉的燃烧

1.2.1 煤粉的燃烧过程

预热→干燥→析出→挥发分着火→碳粒预热着火→碳粒燃烧；

煤粉着火首先是挥发分，其后才是碳粒着火燃烧，因而着火温度随着挥发分含量减少而升高。不同煤种其着火温度的差别，见图 1。

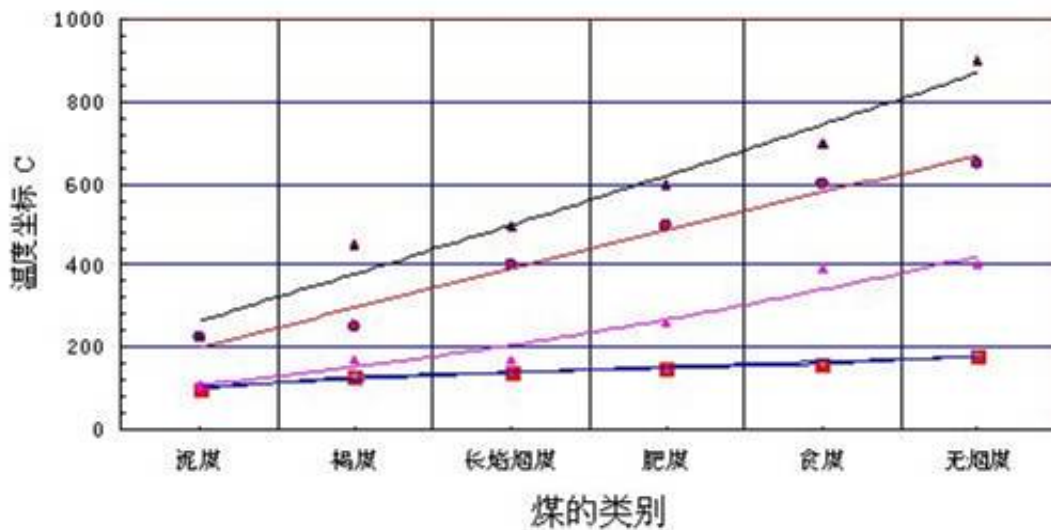
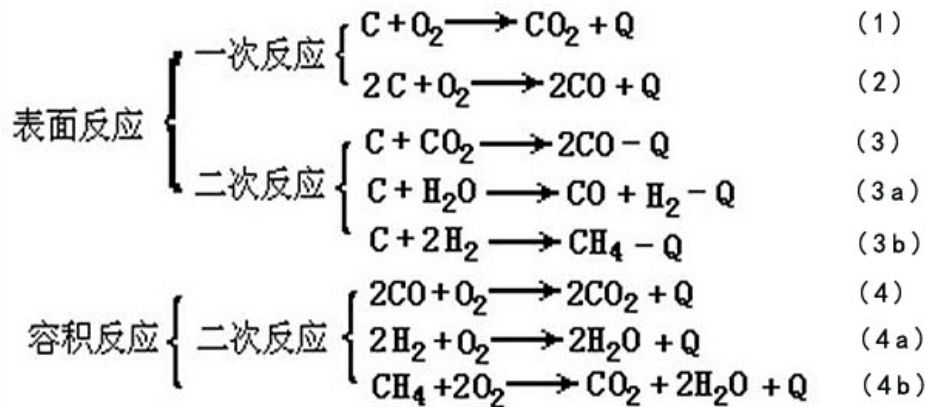


图 1 不同煤种其着火温度的差别

1.2.2 碳粒的燃烧

碳粒燃烧的化学反应如下：



碳粒表面先是一氧化碳的形成，温度较低时是反应（1）、（2）为主，随着温度升高过渡到是以（2）为主，当温度继续升高，则反应（3）为主；在火焰的锋面上进行得最多的是一氧化碳的燃烧反应。

水泥窑炉煤粉大多在 1000°C 左右燃烧，有关试验资料介绍，其过程多受动力控制。提高燃烧速度和燃烬率最有效的措施是，提高燃烧温度并辅以提高氧与碳粒的接触几率或氧分压。

2 使用无烟煤

2.1 无烟煤的特性

无烟煤挥发分低，着火温度高（一般 600~800°C）；燃烧速度慢，燃烬时间长；无烟煤变质程度深，质地比烟煤硬，易磨性差。

2.2 使用无烟煤煅烧的技术对策

2.2.1 控制煤粉细度

努谢尔脱（Nusselt）研究表明：碳球燃烬时间正比与它的直径平方，要使无烟煤完全燃烧，要求细度 $R_{0.08}$ 小于其挥发分的一半或更细。

无烟煤变质程度深，质地硬，易磨性差，使用无烟煤细磨机+动态选粉机的煤磨系统是可靠的选择。

2.2.2 高温助燃空气

助燃空气温度越高，越有利于煤粉在窑及分解炉内着火燃烧，要求配置高效率的冷却机，使入窑二次风温 $> 1000^\circ\text{C}$ ；入炉三次风温 $> 850^\circ\text{C}$ 。

2.2.3 窑及分解炉燃烧器

窑及分解炉尤其窑是采用多通道燃烧器强化燃烧，配置点火助燃系统。

主要有以下技术措施：

浓缩燃烧，减少一次风用量提高煤粉浓度，降低煤粉气流着火所需吸热量。强化热回流，内外风大速差在出口造成负压回流区，卷吸高温烟气及二次风，提高助燃空气温度。高速射流结合强涡流技术，增加燃烧器推力，强化煤粉混合。

2.2.4 分解炉

结合旋流的多喷腾炉、带旋流预燃室或沸腾预燃室的喷腾炉对使用无烟煤具有优势，设计时应注重以下方面：

提高炉的操作温度，提高燃烧反应速率；

改善煤粉燃烧环境，控制风-料-煤的混合时机，使煤粉更早混合高温助燃空气；延长煤粉停留时间，保证足够的炉容，降低运行速度，采用旋流结合多次喷腾延长其运行路径。

2.3 无烟煤的生产实例

福建泉州美岭水泥有限公司，使用无烟煤的挥发分 3%~5%，1# $\Phi 4 \times 60\text{m}$ 预分解窑，采用 $\Phi 3.2\text{m}$ 细磨机+ 动态选粉机制备煤粉 ($R_{0.08}=1-3\%$)，配置 RSP 分解炉，熟料产量 $>2800\text{t/d}$ 。2# $\Phi 4.3 \times 64\text{m}$ 预分解窑，采用 $\Phi 3.8\text{m}$ 细磨机+ 动态选粉机制备煤粉 ($R_{0.08}=1\% \sim 3\%$)，配置喷旋分解炉，熟料产量 $>3800\text{t/d}$ 。

3. 使用劣质煤

3.1 劣质煤的特性

劣质煤主要特点是灰分高、热值低。

3.1.1 挥发分初析温度升高

挥发分的释放主要通过煤粒内的孔隙作为快速通道，而灰分处于可燃质的边界上。过高的灰分会显著妨碍挥发物的析出，特别是内部挥发分的释放，所以高灰分的煤的挥发分初析出温度较高。

3.1.2 着火速度降低

由于挥发分析出延迟，着火温度也因之升高，从而造成着火延迟。灰分也影

响着火速度和火焰传播速度，在相同的挥发分下，灰分越高，着火速度越低。

3.1.3 燃烧速度变慢

灰分过高，煤的燃烧特性变差。由于灰分不能够快速离开碳粒的表面，随着固定碳的燃烧，表面灰分的堆积将导致碳粒燃烧的附加扩散阻力，阻止氧的扩散，妨碍了碳粒的燃烬。

3.1.4 燃烧废气量增加

由于热值低，同样发热能力燃烧产生的废气量增加。

3.1.5 燃烧火焰温度降低

由于灰分和废气量增加，加热消耗热量，使火焰温度下降。

3.2 使用劣质煤煨烧的技术措施

劣质煤的燃烧特性很多与无烟煤相仿，采用其煨烧的技术措施与无烟煤煨烧相近。但要特别注意其低热值的不利影响，煤粉热值小于 4800kcal/kg，将严重影响窑内煨烧，窑头尽量不要使用热值小于 4500kcal/kg 的煤粉；分解炉可以使用热值不小于 4000kcal/kg 的煤粉，或者掺入劣质煤后混合煤粉热值不小于 4000kcal/kg，掺用劣质煤以分开粉磨供煤为佳。

3.3 劣质煤的生产实例

长沙河田白石建材有限公司， $\Phi 4 \times 60\text{m}$ 预分解窑配置带预燃室的喷腾炉，窑头用烟煤（热值 5300~5500kcal/kg），采用 $\Phi 2.4\text{m}$ 球磨+动态选粉机制备煤粉（ $R_{0.08}=3\% \sim 6\%$ ），分解炉用劣质煤（热值~4000kcal/kg），采用 $\Phi 2.6\text{m}$ 细磨机+动态选粉机制备煤粉（ $R_{0.08}=1\% \sim 3\%$ ），熟料产量>2800t/d。

4. 使用褐煤

4.1 褐煤的特性

褐煤挥发分高，热值低，水分高（空气干燥基>20%）。煤中水分有大量结晶水，主要以硫酸钙（ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）、高岭土（ $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）、硫酸亚铁（ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ），结晶水在粉磨过程中不能够烘干，而随煤粉入窑。

褐煤高挥发分，燃烧热值又低，燃烧时要蒸发大量的自身水分，使得火焰温度降低。煤粉水分每增加 1%，火焰温度约降低 10~20℃。另外挥发分燃烧的快速

释放导致火焰较短；较多的惰性气体和水汽吸热使最高温度火焰出现延迟（见图2）；大量惰性气体和水汽也使火焰对窑内物料的传热性能降低；因而使用褐煤会使回转窑的发热能力下降，降低窑的产量。

褐煤燃烧产生气体湿含量高，达到相同发热能力产生的废气量大，加以窑产量降低，单位熟料的表面散热和废气热损失增大，使系统热耗增高，也使预热器出口温度和压损少许升高。

废气量的增加使预分解系统各部位固气比降低。

另外，褐煤的挥发分高，在储存输送和粉磨过程中易自燃。

新型干法窑成功采用过高热值褐煤（热值 $>5300\text{kcal/kg}$ ）和部分掺用低热值褐煤（热值 $\sim 4000\text{kcal/kg}$ ），尚无100%燃用低热值褐煤的经验。

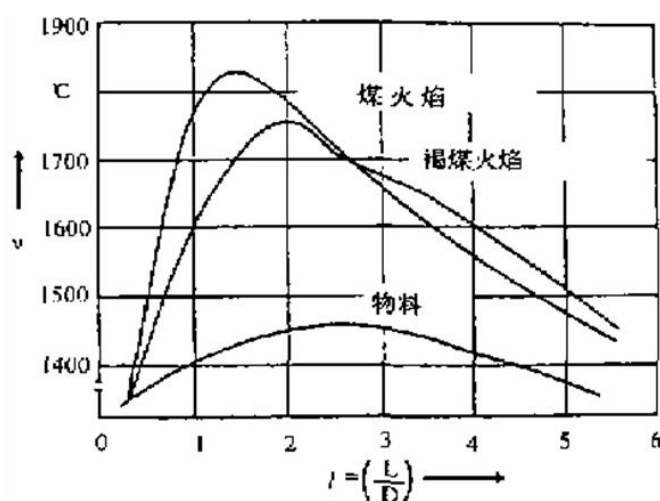


图2 水泥回转窑内烧成带温升图

4.2 使用褐煤煅烧的主要技术措施

4.2.1 高温助燃

提高冷却机冷却效果，合理减小窑门罩，提高入窑二次风温。

4.2.2 提高火焰温度，改善火焰长度

窑头燃烧器采取浓缩燃烧，减少一次风用量提高煤粉浓度；强化热回流，提高内外风速差，在出口造成负压回流区，卷吸高温烟气及二次风，提高火焰温度。

入窑煤粉采用浓相输送，同时缩短输送距离，减少入窑冷风量。

在安全可靠的前提下，尽量降低出磨煤粉水分，采用适用于高湿物料烘干的

粉磨系统。在收到基水分很高时，可采取存放风干或预烘干等降低水分措施。

4.2.3 调整回转窑内衬

由于燃用褐煤，火焰燃烧最高温度会后移，窑内烧成带相应后移，需要根据水分、挥发分适当调整窑内耐火砖的配置。

4.2.4 核优预分解系统

对以褐煤燃料为主的预分解系统设计时，既要考虑废气量改变对燃烧及传热的影响，也要考虑固气比降低对预热器分离效率的影响。需要在分解炉和分解管道中有足够的停留时间；合理分布各级旋风筒分离效率、有效体积及出风管道结构，保证固气比降低后能够合理匹配效率和阻力，同时加强气固分散，使气固间充分换热。

4.2.5 防自燃

褐煤的储存、输送和粉磨环节对防火防爆要求高，各环节设计要注意安全，尤其烘干介质要使用惰性气体，并合理控制烘干温度。同时完善防火防爆设施和监测装置。

4.2.6 部分掺用

部分掺用褐煤时，分开煤磨供煤较好。分解炉用褐煤、窑头用烟煤或无烟煤，以消除对窑内煅烧的影响，尤其是掺用低热值褐煤。

4.4 褐煤的生产实例

印尼泛亚 STAR 水泥公司 $\Phi 4 \times 60\text{m}$ 预分解窑配置喷旋分解炉，使用当地褐煤作为燃料。原煤全水分 18%~27%（其中内水分 10%~13%），采用 ZGM113 立磨制备煤粉，细度 $R_{0.08}$ 约为 12%，煤粉全水分 13%~16%，挥发分 36.5%~42%，净热值 4700~5000kcal/kg。在同时满足煤磨和生料磨（入磨物料水分 Max.~10%）烘干要求的情况下，烧成系统熟料产量 >5000t/d，热耗 770kcal/kg。

5. 使用高硫煤

5.1 高硫煤的影响

煤是水泥生产过程中硫排放的主要来源，硫与碱在窑尾及预分解系统循环富

集，容易结皮造成堵塞。为保证正常操作，缓解硫循环的影响，一般限制煤的硫含量 $S < 2.0\%$ ，超过时需要采取措施。硫在烧成系统内的主要化学反应见图 3。

烧成系统内硫的化学反应		
系统部位	SO ₂ 生成反应	SO ₂ 吸收反应
烧成带和过渡带	燃料内所含的 $S + O_2 \rightarrow SO_2$	$Na_2O + SO_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow Na_2SO_4$
	硫酸盐=氧化物 + $SO_2 + \frac{1}{2} O_2$	$K_2O + SO_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow K_2SO_4$
		$CaO + SO_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CaSO_4$
分解带	燃料内所含的 $S + O_2 \rightarrow SO_2$	$CaO + SO_2 \rightarrow CaSO_3$
	$CaSO_4 + C \rightarrow CaO + SO_2 + CO$	$CaSO_3 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CaSO_4$

图 3 水泥烧成系统内硫的化学反应

5.2 使用高硫煤煅烧的技术措施

5.2.1 控制原燃料硫碱比

适当提高生料中碱的含量，控制硫碱比 0.5~1，可以考虑辅以钾长石等高碱原料配料。

5.2.2 使用固硫剂固融

固硫剂在高温下和硫产物形成硅酸盐固熔体，阻止硫产物的再分解，减少硫的循环。固硫剂中的主要成份 $2CaO \cdot SiO_2$ ，与煤燃烧放出的 SO_2 反应生成 $CaSO_4$ 和 SiO_2 ， CaO 与 SO_2 发生反应生成 $CaSO_3$ ， $CaSO_3$ 与 O_2 发生反应生成 $CaSO_4$ 。在固硫产物中除生成 $CaSO_4$ 、 CaS 外，还有更稳定的多元化合物 $CaFe_3(SiO_4)_2OH$ 、 $3CaO \cdot 3Al_2O_3 \cdot CaSO_4$ 覆盖或包裹在 $CaSO_4$ 外面，形成玻璃体物质，从而延缓并阻止 $CaSO_4$ 的分解。

5.2.3 改善窑尾烟室环境

窑尾烟室保持氧化气氛、降低温度、减少扬灰，可一定程度减少其中硫的挥发，降低进入预分解系统废气中硫的含量，缓解预热器及烟室的结皮。

在设备设计和操作上可以采取以下措施：扩大后窑口烟室结合处的最小断面，改善窑内通风，减少烟室飞灰；从 C4 分料进窑尾烟室，降低烟室温度；操作时保持窑内较大富氧量，窑尾氧含量控制在 ~5.0%。

5.2.4 采用旁路放风

解决高硫煤在预分解窑系统中应用的最有效措施是旁路放风，放风量与有害成分量的关系见图 4，放风比例一般控制在 10%，不宜超过 15%。

旁路放风典型的流程见图 5，增加旁路放风使生产操作控制变得复杂，还要增加旁路窑灰的处理系统，烧成系统热耗、料耗、电耗都会增加。通过风量和热平衡计算以及使用经验，每放风 1% 的窑尾气体，旁路窑灰量约增加 1.5~2.5g/kg-cl，烧成系统热耗约增加 2~3kcal/kg-cl，烧成系统电耗约增加 0.1~0.2kWh/t-cl。

因为旁路放风有诸多不利，在国内应用的不常见，而在中东国家地区承建的生产线使用较多。

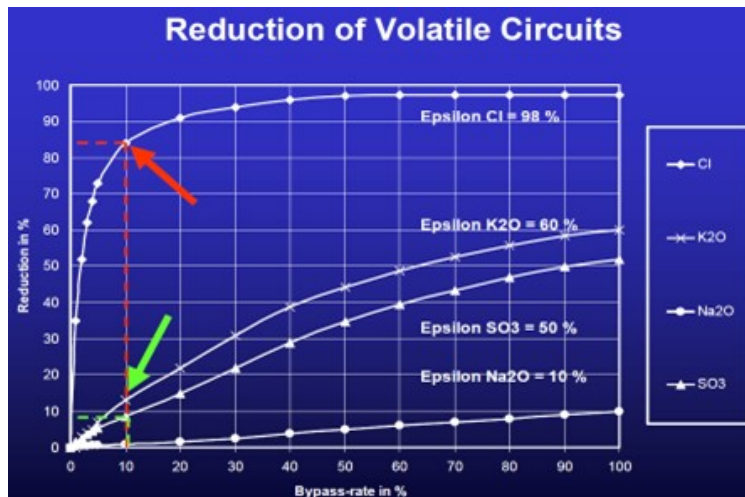


图 4 放风量与有害成分量的关系

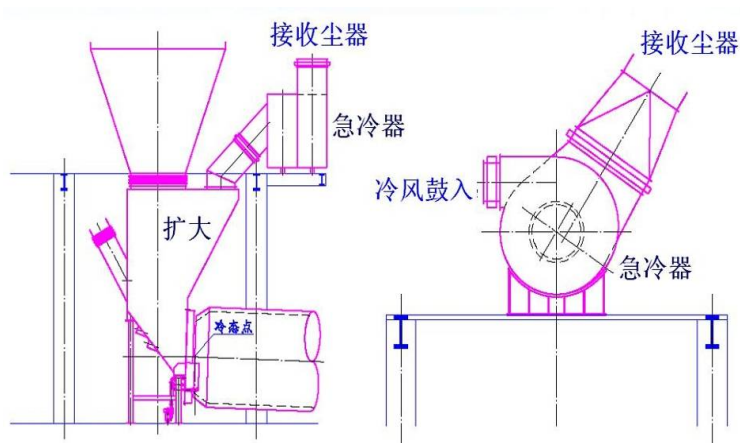


图 5 旁路放风典型的流程

5. 致谢

本文引用了院内职工培训和交流材料的部分素材和实例，作者在此表示致谢。

辊压机终粉磨系统是老厂改造中的应用

臧正安¹、王学敏¹、王虔虔¹、王建华²

(1 中建材粉体科技装备有限公司, 安徽 合肥 230051)

(2 河南省同力水泥有限公司, 河南 郑州 458008)

近几年, 我们用辊压机终粉磨系统技术对山东山铝、天瑞裕泰、福建金银湖、泾阳声威、鹤壁同力等水泥生产企业的生料粉磨系统进行了技术改造。改造后, 吨生料电耗普遍降低了 10 kWh /t 以上, 节能增产效果非常明显。

今年 4 月份改造完成的鹤壁同力水泥有限公司 2#窑生料技改项目, 充分利用了原有球磨机系统的风路、选粉、废气处理等设施, 仅仅新增一套辊压机和 V 型气流分级机及输送设备, 这种技改思路不同于常见的完全新建一个生料粉磨系统的思路。项目工程量少, 尤其土建工作少, 新增设备少, 停产时间短, 建设成本低。

下面具体介绍一下鹤壁同力水泥有限公司 2#窑生料系统技改项目。系统工艺流程见图 1。

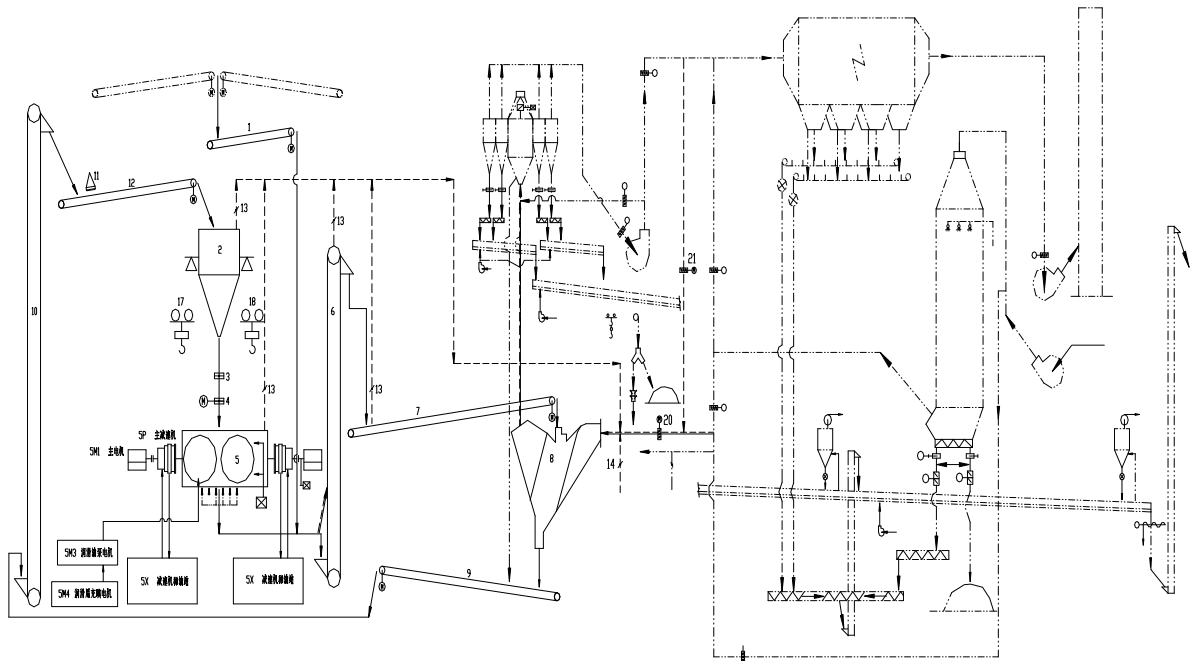


图 1 鹤壁同力 2#原料粉磨系统改造工艺流程图

在 2#生料磨车间的南侧空地上, 新增一套 HFCG160-140 辊压机+V4000 型

气流分级机，与原有球磨机系统的选粉机、循环风机及相关风路、选粉、废气处理等组合，形成新的辊压机终粉磨系统。料路系统：来自原料配料库的混合原料（石灰石、砂岩、硫酸渣和粉煤灰）通过皮带机输送至辊压机车间气流分级机进料口，新鲜物料汇同辊压机挤压后的物料送入新增的 V 型气流分级机内。物料经过 V 型气流分级机分选，粗粉通过皮带机和提升机返回辊压机稳流称重仓，细粉（半成品）被风带入原有组合式高效选粉机内，选出的粗粉也回到辊压机称重仓，细粉即为成品再由空气输送斜槽、提升机等送入生料均化库内。风路系统：窑尾热风仍作为整个系统的烘干热源。重新制作热风风管将热风引入新增的 V 型气流分级机内，与循环风、自然风一起通过料幕，携带物料中的细粉再进入到原组合式选粉机内，通过选粉机分离后的含尘气体一部分返回到 V 型气流分级机内，其余进入窑尾收尘器。

生料磨系统改造项目新增设备见表 1，新系统利用的原有设备见表 2，改造项目设计指标，见表 3。

表 1 生料磨系统新增设备表

序号	型号和规格	台数	生产能力 单套 t/h	装机容量 kW	备注
1	辊压机 HFCG160-140 喂料粒度：≤80mm	1	处理量 670~800t/h	2×1120	新增
2	气流分级机 HFV4000 风量：~24×10 ⁴ m ³ /h	1	最大喂料 1200t/h	/	新增
3	辊压机料饼提升机 NBH1200D	1	最大提升量 1200t/h	185	新增
4	V 选粗粉提升机 NBH1200D	1	最大提升量 1200t/h	160	新增

表 2 利用原有设备表

序号	型号和规格	台数	技术参数	装机容量 kW	备注
1	组合式选粉机 ZX3000	1	生产能力≥220 t/h	110	局部改造
2	循环风机 2400DIBB50	1	风量：32×10 ⁴ m ³ /h 风压：7500 Pa	1000	局部改造
3	成品输送斜槽 XZ400 (包括斜槽风机等)				利用 原设备

表 3 设计指标

序号	指标项目	单位	设计指标
1	2#生料粉磨系统台时产量	t/h	≥220
2	2#生料粉磨系统电耗	kWh/t	≤14
3	R _{0.08mm} 筛余	%	≤15
4	R _{0.2mm} 筛余	%	≤1.5

该工程从 2015 年 11 月开始，历经 120 天完工，顺利投料试车，经过 10 多天的摸索，项目实现并超过了总包合同的设计指标。改造后，系统实际运行指标见表 4。

表 4 改造后的实际运行指标

序号	指标项目	单位	实际运行数据
1	2#生料粉磨系统台产	t/h	220~240
2	2#生料粉磨系统电耗	kWh/t	11.5~12.5
3	R _{0.08mm} 筛余	%	≤15
4	R _{0.2mm} 筛余	%	≤1.5

改造前后，2#生料粉磨的系统参数分别见图 2、图 3。

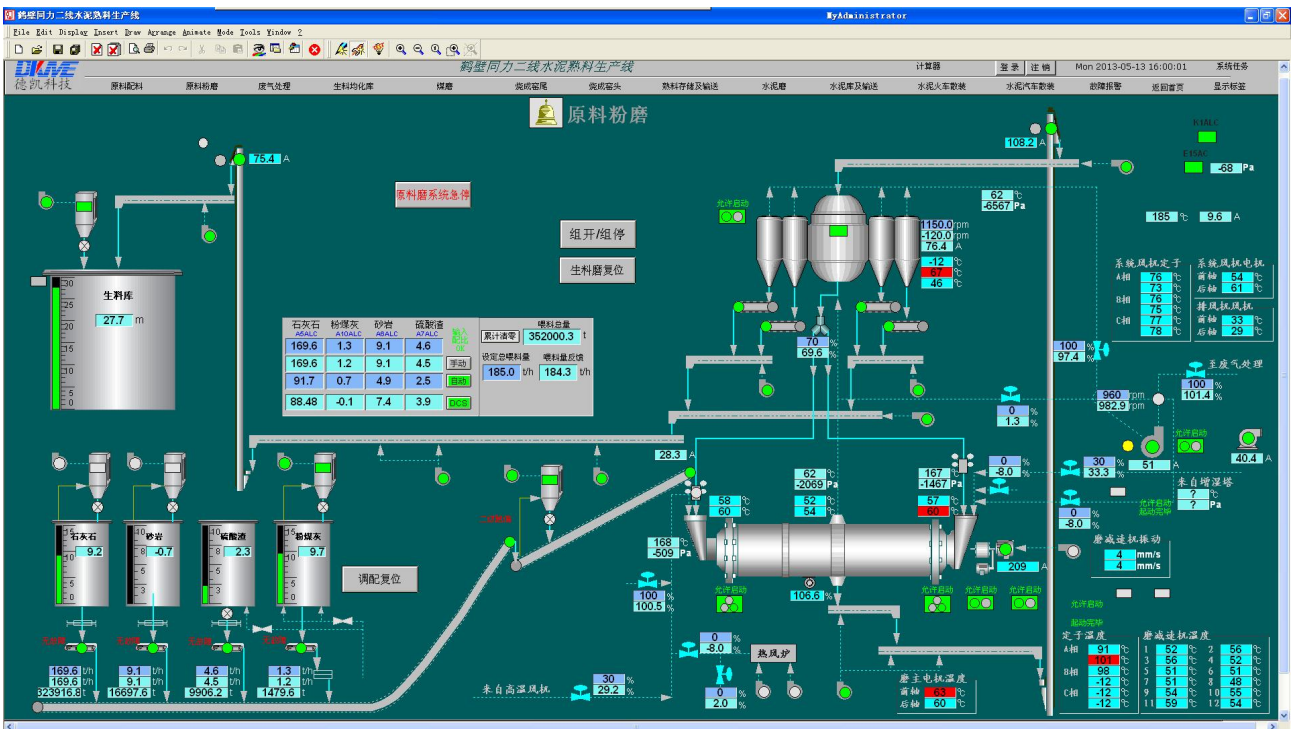


图 2 改造前的 2#生料粉磨系统中控画面

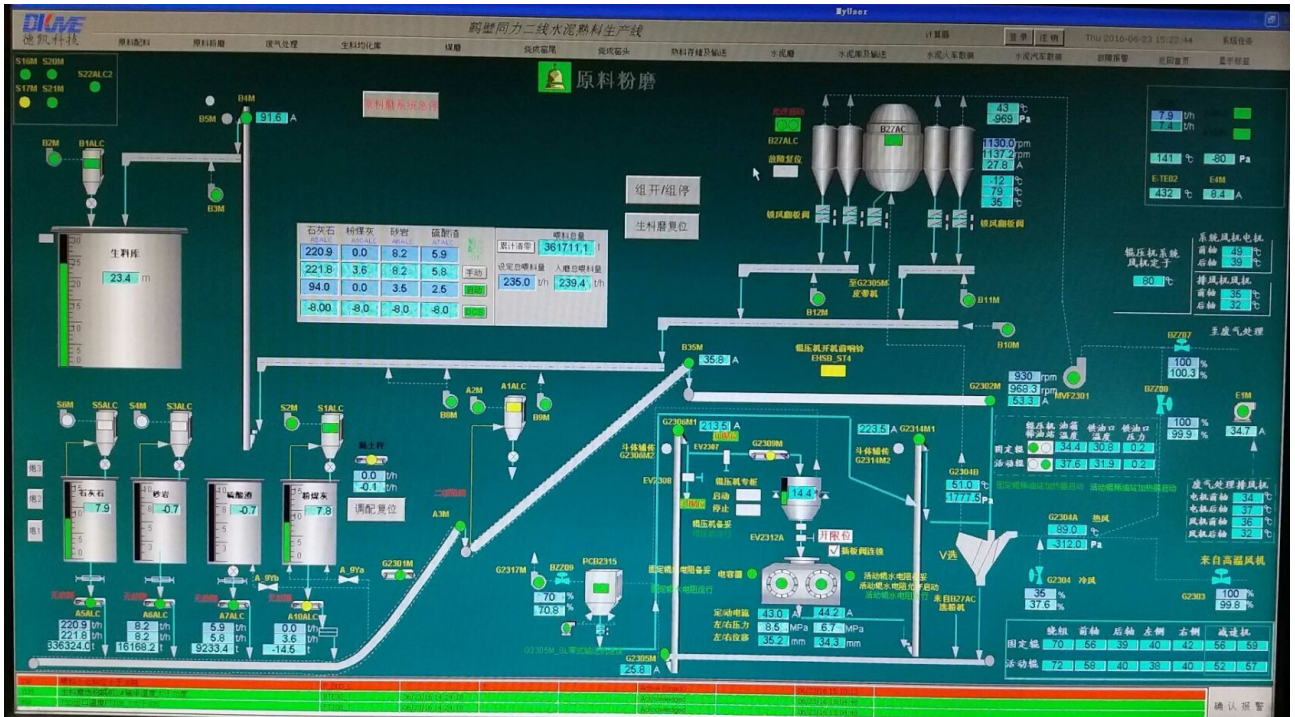


图 3 改造后的 2#生料粉磨系统中控画面

改造前后，2#生料粉磨的系统生产数据对比见表 5。

表 5 改造前后生产数据对比

项目	改造前	改造后
	中卸烘干磨系统	辊压机终粉磨系统
粉磨主机规格	$\Phi 4.6 \times (10+3.5)\text{m}$	HFCG160-140
系统主机总装机功率 kW	4792	3695
80 μm 筛余 %	14~16	≤ 15
系统产量 t/h	~193	≥ 220
粉磨系统电耗 kWh/t	22.06	≤ 14
吨产品主机装机功率	25.2	16.8

原料粉磨系统改造后的现场照片，见图 4。该方案的另一个特点就是项目建设周期短。与完全新建一整套辊压机或者立磨终粉磨相比，采用本方案的建设周期较短，但停机对接的时间稍微较长，主要是由于利用原球磨机筒体的位置放置 V 型气流分级机，因此对接阶段需要把球磨机筒体移出原磨房。选择不同的方案，项目实施周期对比见表 6。



图 4 鹤壁同力 2#原料磨系统改造现场照片

表 6 项目实施周期对比

内容	本方案	新建整套辊压机或者立磨终粉磨
主体施工周期	4 个月	7~8 个月
停机对接	~25 天	~10 天

综上所述，该技改方案具有一些独特的优势：

(1) 技改实施投资省、占地少、周期短，收回投资相对容易。因为新增设备辊压机的土建框架占地小、高度矮、土建工作量小，而且风管等非标制作安装少，施工周期短。采用完全新建的技改方案，即新建一整套立磨或者辊压机终粉磨替代原球磨机系统，需要较大的场地，土建工作量大，建设时间长，投资高。并且原球磨机车间的设备完全废弃，造成了资产浪费，非常可惜。而本技改方案适用于老厂技改，尤其是场地很紧凑的情况，改造的可实施性更强。

(2) 对原料水分的适应性强，电耗更节省。因为利用老的热风和废气系统，位置最佳，风管短，阻力小，热利用率更高，已经实施改造的案例显示，综合水分在 6%以下的原料利用余热发电后的窑尾废气完全可以烘干，不需要降低发电量从而提高风温。如果完全新建磨房，好的位置被原有球磨机系统占着，风路系统、

料路系统基本没有办法合理布置，风路阻力大，电耗高，而且热量散失较多。

(3) 辊压机采用柱钉辊面，正常情况下，带料运行 30000 小时免维护，生料产量质量稳定，不仅生产维护运行成本低，而且窑保供能力强。

(4) 生产现场噪音非常低，较球磨机系统明显改善。

(5) 电耗指标较立磨系统更先进。因为辊压机的高效率和辊压机系统选粉用风小，较立磨系统电耗低 2kWh/t 以上，原料水分越少电耗越低。

目前国内水泥工业产能严重过剩，技术指标落后、运行成本高的企业将被淘汰。而且，国家标准《水泥单位产品能源消耗限额》(GB16780-2012) 规定，生料工段分步电耗是 ≤ 18.5 kWh/t (新建水泥企业，中等易磨性原料)。因此，对于还用传统球磨机粉磨系统制备生料的老厂生产线，采用本文介绍的辊压机终粉磨系统进行节能降耗技术改造是一个较好的选择。



水泥窑 SNCR 脱硝系统喷枪的选择和布置

廖玉云、毛志伟、程 群

(合肥水泥研究设计院 安徽合肥 230051)

1 前言

当前，SNCR 脱硝技术在国内几乎 90% 的水泥窑上得到推广应用。在 SNCR 脱硝系统中，喷射装置是保证还原剂与烟气混合均匀的重要手段，是 SNCR 脱硝技术的核心部分。脱硝过程，即为还原剂经计量分配，通过脱硝喷射装置雾化后喷射进分解炉，形成高速流动的雾状液滴对炉膛内烟气造成强烈的冲击和混合，并与氮氧化物发生氧化还原反应，降低烟气中氮氧化物浓度的过程。因此，SNCR 脱硝系统的关键设备—喷枪（喷嘴）的布置和选型的好坏，直接关系到整个脱硝系统的运行与脱硝指标的实现。

本文结合脱硝技术应用实践，从喷枪（喷嘴）的类型、数量和布置位置、雾化效果等几个方面，介绍水泥窑 SNCR 脱硝系统喷枪的选用和优化布置，为今后类似工程提供有关经验和参考。

2 喷嘴类型和布置

2.1 喷嘴的类型

脱硝喷雾装置的核心在于喷嘴的雾化效果。喷嘴的特性主要体现在喷嘴的喷雾类型，即液体离开喷嘴口时形成的形状以及它的运行性能。

喷嘴的基本功能是通过雾化介质把液体雾化成微小的液滴，并且使液滴按要求分布在一定的雾化角度的横截面上，因此喷嘴的结构设计首先应保证使还原剂溶液具有良好的雾化效果；其次雾化的粒径必须保证足够的动量，以满足与烟气的充分混合；第三应考虑喷嘴本身处于高温高尘部位，特别是水泥窑尾分解炉中，其粉尘浓度高达 $80\sim 120\text{g/m}^3$ ，更要求喷嘴应具有良好的耐高温、耐磨损、耐腐蚀

性能，不易损坏^[1]。目前水泥窑 SNCR 脱硝系统采用的双流体喷枪通常采用压缩空气作为雾化介质，借助压缩空气的高速同轴或垂直方向的高速射流，冲击的液柱或液膜，在气液两相的高速相互作用下，得到粒度细小且较为均齐的雾化液滴。

我院脱硝专用喷枪设计的喷雾形状分为实心圆锥形和扇形两种(见图 1~2)，喷射角度可以满足 20°~110°范围，见图 3。喷嘴采用特殊的材质，使其具有耐磨损、耐腐蚀、耐高温，适合于恶劣工况下使用，在分解炉周围布置时，采用不同喷射角度，不同布置，以满足基本覆盖分解炉截面。实际应用时，不同喷雾形状的喷嘴的出水孔径尺寸、出水孔的数量等也可以设计不同。通过更换不同规格、型号可达到不同液体流量的喷出和得到不同液体喷雾形状，还可以得到不同的喷雾角度和效果。

图 4~6 为实际使用单孔、双孔和多孔喷枪的雾化效果。



图 1 实心锥形喷雾

实心锥形喷雾型覆盖区域是一个完全充满液滴的圆形，该型通常是利用内部叶片使得液体在喷嘴口之前获得湍流而形成。



图 2 扇形喷雾

扇形喷雾类型的液体分布呈现平面薄片形，该喷雾类型是通过利用一个椭圆形喷嘴口或一个与导流面相切的圆形喷嘴口而形成。

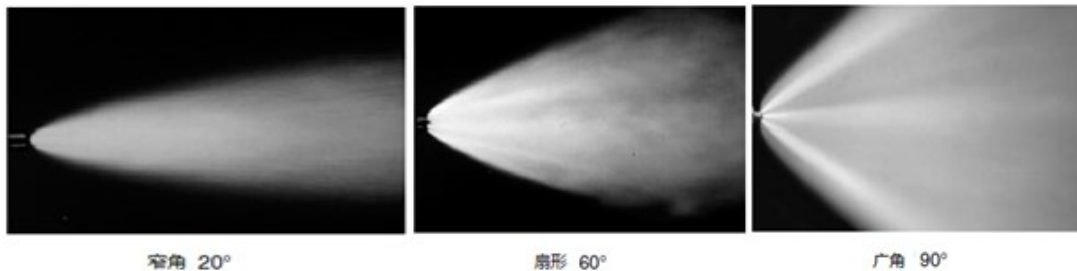


图 3 不同喷射角度的喷雾形状

图 4、图 5、图 6 所示为出水孔为单孔、双孔及多孔时的喷嘴图片和喷雾效果。在压力基本相同时，单孔喷嘴射程较远，双孔喷嘴的覆盖面积较大，多孔喷

嘴的射程较远、覆盖面积也大。因此，当喷射截面较小时，可使用单孔或多孔喷嘴，而喷射截面较大时，可采用双孔或多孔喷嘴，以获得较大的覆盖面积和喷射脱硝效果。

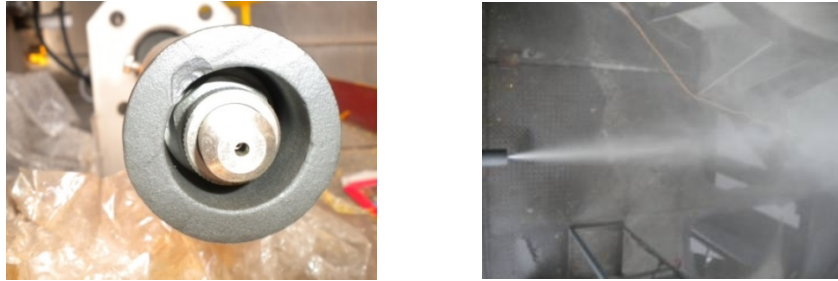


图 4 某工程单孔喷嘴及喷射效果图



图 5 某工程双孔喷嘴及喷射效果图

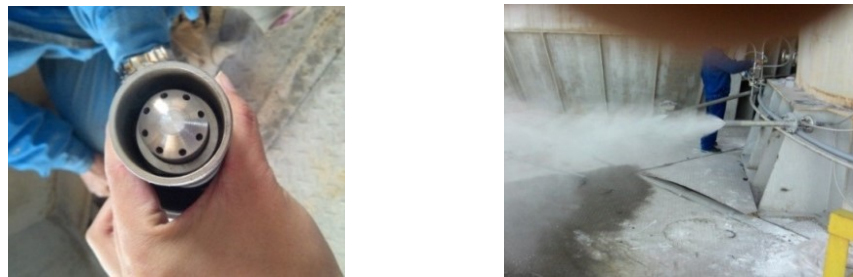


图 6 某工程多孔喷嘴及喷射效果图

2.2 喷枪（喷嘴）位置和数量的确定

在 SNCR 系统工程中，喷枪的数量和布置方式，对脱硝性能起到至关重要的作用。

由于水泥窑炉负荷和燃煤煤种的变化，炉内温度场变化情况较大。因此，SNCR 系统设计中，应根据分解炉的温度场、流场和化学反应的数值进行 CFD 模拟优化后，结合分解炉的实际情况确定喷射区部位和数量，据此选择喷射装置类型和数量，最后进行布置。

在实际工程中,为保证还原剂在喷枪布置的炉膛截面上对 NO_x 进行有效拦截,通常多层、多点布置喷射点,结合采用多种形式的喷枪,使分解炉在不同工况时,都能保证系统的脱硝效率。

(1) 长短枪交替布置

每一层喷枪采用“长短枪布置”和“还原剂分布无盲区”的设计思路,使喷入分解炉反应区的还原剂能最大程度的覆盖整个断面,大大提高了还原剂与 NO_x 的反应几率,节省运行成本。同时,可将氨逃逸率控制在最理想的状态,最大限度的降低了氨逃逸率,减少了二次污染,降低成本。长枪即喷射角度小,但喷射距离远,短枪即喷射距离近,但喷射角度大覆盖面宽。如图 7 所示。

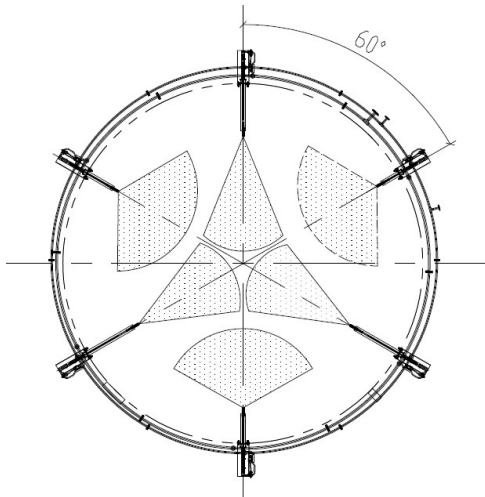
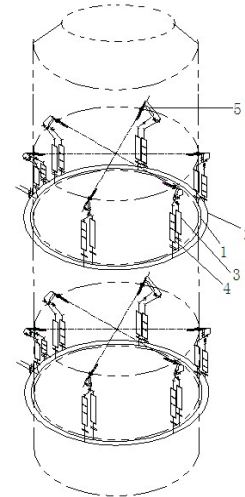


图 7 长短枪布置喷射雾化示意图



8 双层喷枪布置示意图

(2) 双层布置喷枪

由于 SNCR 工艺需要特定的反应区域,而水泥窑在生产过程中会有一定波动,分解炉脱硝反应区的温度会有一些的波动和偏移,会导致喷枪反应器反应效果降低。因此,可考虑将喷枪采用双层布置,增大了 SNCR 系统温度区域的适应范围,在每一层喷枪设置热电偶,实时监控分解炉内部温度,可以根据温度层来选择开启喷枪,可以两层喷枪同时投入工作,也可单独开启一层喷枪。如图 8 所示。

3 实际运行数据分析

表 3-1 所示为某 4500t/d 熟料水泥生产线 SNCR 脱硝系统运行数据(还原剂为

氨水，喷枪双层布置)。

表 3-1 某 4500t/d 熟料生产线 SNCR 脱硝系统运行数据

序号	上层喷枪流量 (m ³ /h)	下层喷枪流量 (m ³ /h)	上层喷枪压力 (MPa)	下层喷枪压力 (MPa)	C1 筒出口 NO 浓度 (mg/Nm ³)	烟囱氨逃逸浓度 (mg/Nm ³)
1	0	0	0.15	0.15	935	0.49
2	0.73	0	0.33	0.15	208	0.42
3	0.70	0	0.34	0.14	236	0.93
4	0.65	0	0.34	0.15	262	0.58
5	0.47	0	0.34	0.15	404	0.66
6	0	0.65	0.15	0.34	473	0.75
7	0	0.78	0.15	0.33	418	0.68
8	0	0.88	0.15	0.34	321	0.78

从表中可看出，在相同的喷射流量情况下，上层喷枪（分解炉出口直径 4.3m 处）的喷射脱硝效果比下层喷枪（分解炉本体喷枪处直径 6.3m 处）的效果要好，分析可能是由于上层喷枪布置位置截面小，在相同喷枪数量的情况下，喷射出来的还原剂覆盖面大，与烟气混合效果好，因此喷射效果好。同时，达到相同的喷射效果情况下，上层喷枪还原剂使用量约 0.65m³/h，此时脱硝效率达 75%，而同样的还原剂流量下下层喷枪效果为 50%左右，在达到 0.88m³/h 的喷量情况下脱硝效果达到 65%。正常情况下，只开上层喷枪，且流量保持在 0.45~0.5m³/h 时，NO_x 浓度能降低到 400mg/m³ 以下。

表 3-2 为某 10000t/d 水泥生产线脱硝系统运行数据（还原剂为氨水，喷枪双层布置，采用长短枪交替布置，长枪设计为多孔出水口，见图 6）。

表 3-2 某 10000t/d 生产线 SNCR 脱硝系统调试运行数据

序号	上层喷枪流量 (m ³ /h)	下层喷枪流量 (m ³ /h)	NO _x 折算浓度 (m ³ /Nm ³)	NH ₃ (mg/Nm ³)
1	0	0	626	0
2	1.02	0	544	1.6
3	1.7	0	409	1.5
4	0	0	624	0
5	1.14	0.93	327	1.5
6	1.07	1.16	353	1.5
7	1.54	1.65	263	1.6

由表中可以看出， NO_x 初始浓度 $630\text{mg}/\text{Nm}^3$ 左右，要满足 60% 以上的脱硝效率，要求脱硝后 NO_x 浓度在 $260\text{mg}/\text{Nm}^3$ 左右。该项目喷射区域直径高达达到 8m 左右，一般的喷枪喷射距离难以达到要求，因此，系统配置了喷射距离较长的长枪和短枪交替布置。同时，长枪设置了多孔出水孔，上下两层喷枪交错布置，以达到更高的覆盖面积。从表中可以看出，氨水喷射量至少要喷射至 $3.0\text{m}^3/\text{h}$ （开一层或两层喷枪同时开的总流量），才能达到 60% 脱硝效率，单开一层喷枪时，脱硝效果不如两层同时使用的脱硝效果好。

4 结论

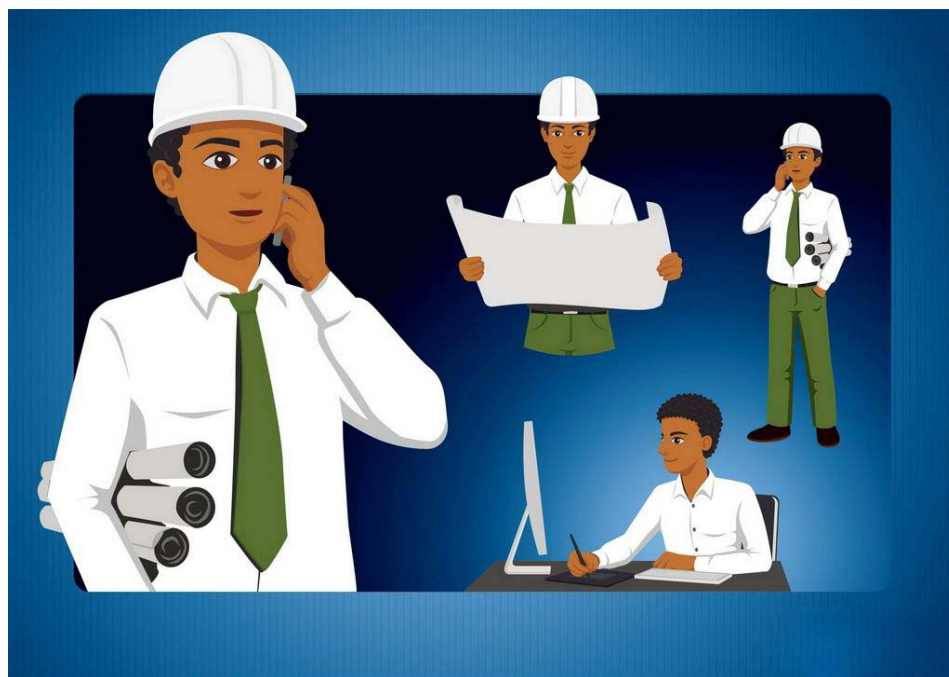
对 SNCR 脱硝喷射系统的分析得出：

（1）脱硝效果与脱硝喷枪喷嘴的雾化效果紧密相关，为获得较高的脱硝效果，可根据水泥窑实际情况，选择不同的雾化类型喷嘴。

（2）高的脱硝效率要求高的喷枪喷射覆盖面积，为此，可将脱硝喷枪采用长短枪交替布置，同时考虑设置多层喷枪。

参考文献：

[1]毛志伟，程群 氮氧化物减排[M] 中国建材工业出版社. 2014. 1



3000t/d 熟料烧成系统的技术改造及优化

黄成平

(合肥水泥研究设计院, 安徽 合肥, 230051)

埃塞俄比亚一条 3000t/d 熟料水泥生产线项目由我院承担工程总包和设计, 2011 年 3 月 27 日点火, 4 月 2 日投料, 顺利实现 3 天达标, 5 月份实现了月达产, 10 月份完成所有车间的性能测试, 累积生产合格熟料 49.2 万吨。生产线从生产调试开始, 院有关部门和现场项目部全体员工共同努力, 通过现场工艺优化和大胆地技术创新, 不断摸索生产管理经验, 使该生产线一直保持良好运行。本文对该生产线烧成系统现场技术改造和工艺优化情况进行简要介绍分析。

1 烧成系统主机设备及工艺流程

1.1 烧成系统主机设备

烧成系统采用 $\Phi 4.6 \times 70\text{m}$ 三档支撑回转窑, pillard 四风道燃烧器, 熟料冷却采用 CP-3500 充气梁篦式冷却机, 窑尾采用 6 级单系列的预热器和 PSMC 型分解炉, 预热器排出的废气采用冷风阀控制降温, 无增湿塔。烧成系统主机设备见表 1。

表 1 烧成系统主机设备表

设备的名称	规格型号及性能参数
回转窑	规格: $\Phi 4.6 \times 70\text{M}$; 转速 $n=0.404 \sim 4.04\text{r/min}$; 能力: 3000 t/d; 窑主电机功率: 630kW
预热器 (六级单系列)	旋风筒: C1: $\Phi 5600\text{ mm}$; C2: $\Phi 8000\text{ mm}$; C3: $\Phi 8000\text{ mm}$; C4: $\Phi 8000\text{ mm}$; C5: $\Phi 8200\text{ mm}$; C6: $\Phi 8200\text{ mm}$ 。
	分解炉: PSMC SC: $\Phi 5100\text{mm}$; MC: $\Phi 7100\text{mm}$
窑头煤粉燃烧器	pillard 4 风道燃烧器
篦冷机	规格: CP-3500; 能力: 3500t/h; 冷机面积 91.4m ² ; 单位冷却风量在 1.9~2.2Nm ³ /kg.cL; 出口熟料温度=环境温度+65℃。
煤磨	规格: HRM2200; 能力: 320t/h; 主电机功率: 2900 kW。

1.2 窑尾预热器系统工艺流程

窑尾预热器系统工艺流程, 见图 1

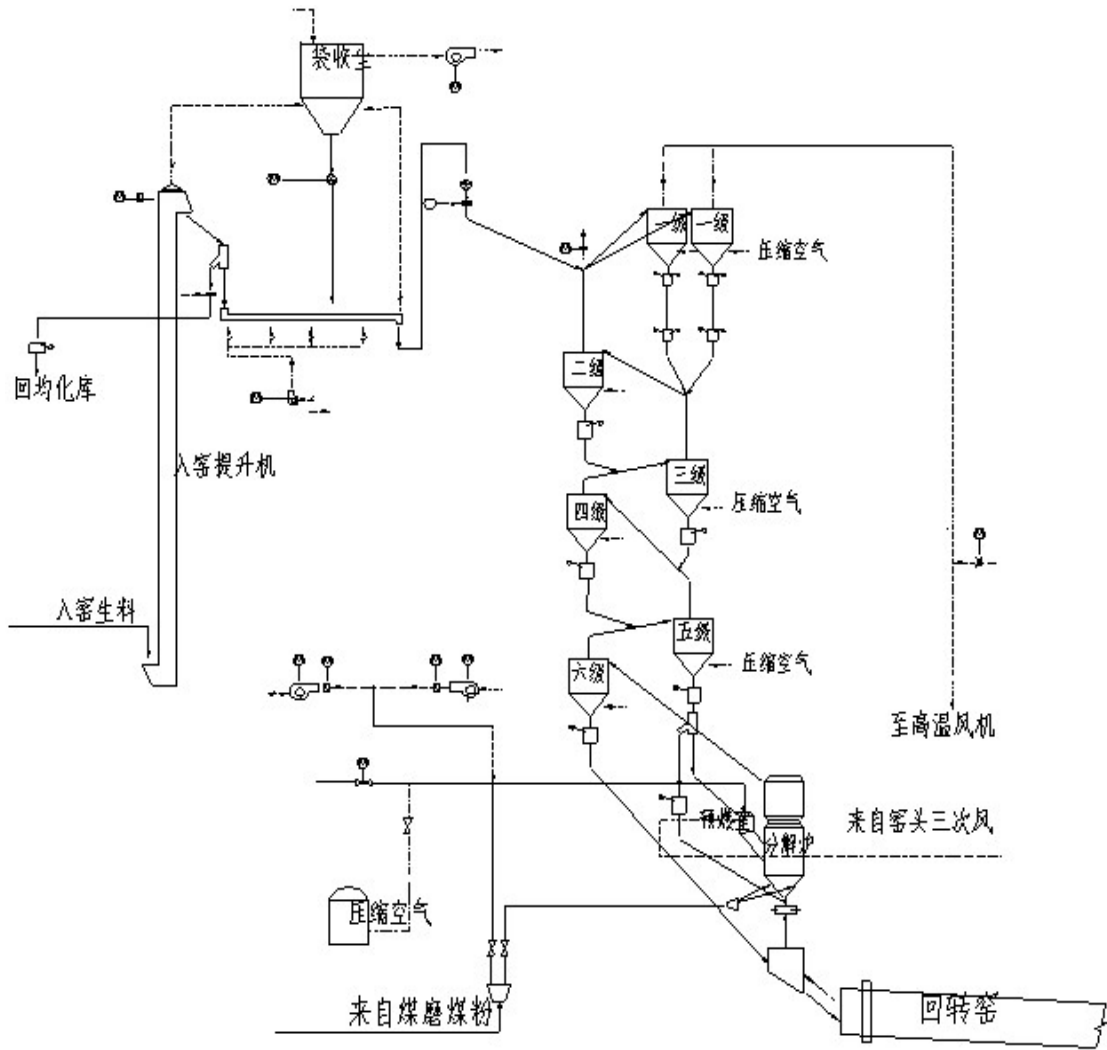


图 1 窑尾预热器系统工艺流程图

2 烧成系统的技术改造和工艺优化

2.1 熟料破碎机口帘幕横梁的改造

窑头熟料破碎机采用的是锤式破碎机，破碎机口帘幕横梁与地面的设计高度是 1.2m。生产初期，由于矿山石灰石中铝含量较高，成分波动较大，加上化验室对生料配比调整不够及时，窑操作也未能跟上，致使窑的烧成带结圈严重。窑内经常结“料蛋”，大的可达 1~2m。破碎机口帘幕横梁及破碎机口经常发生堵塞，处理困难，影响生产。

为解决窑内结大蛋造成破碎机口堵塞的难题，2013 年 9 月，项目部利用窑大修的机会，对篦冷机的破碎机口帘幕横梁进行了改造。将帘幕横梁的位置高度由原来的 1.2m 加高到 2.2m，并要求中控窑操作员精心操作，当发现窑内结料蛋或

下大块时，一定要放慢二段传动速度，避免二段传动推的太快，防止熟料在帘幕下堆积过多，夹带大块料和料蛋，造成帘幕堵塞。同时密切关注熟料破碎机的电机电流，直至大块料蛋通过熟料破碎机口后，方可提窑速、加产。

破碎机口帘幕横梁位置提高后，低于 1.8m 的大料球基本上都可以顺利通过帘幕，加上人员的操作控制，从而有效地减少了窑的故障停机时间，为生产线的连续、稳定运行奠定了良好的基础。

2.2 篦冷机侧墙及空气炮的改造

2014 年 2 月，因篦冷机频繁地出现堆“雪人”，致使回转窑几次停窑，最严重一次堆积到窑口，停窑 3 天才处理完毕。篦冷机堆“雪人”是许多干法水泥厂经常面临的问题，开始时“雪人”并不大，只要发现及时，在“雪人”还未长大之前，人工处理并不难。

由于篦冷机侧墙设计、空气炮的安装不是很合理，“雪人”正处于窑下料口和篦冷机固定篦床的中间，两边均留有捅料孔，空气炮设计安装在中间，无人工捅料孔，导致现场无法清理。尽管业主每天安排了大量的人力，却无济于事，每次只能眼睁睁的看着“雪人”长大，堆积到窑口，最后被迫停窑处理。

针对上述情况，项目部利用同年 8 月份业主水泥销售淡季停窑大修机会，果断决定对篦冷机固定篦床端头的空气炮进行了调向，并重新开设了人工捅料孔。篦冷机固定端墙体自重新开孔后，检查、处理篦冷机堆“雪人”现象就方便多了。同时在生产过程中，加强了对现场岗位巡检管理的力度，要求岗位工每半个小时必须打开观察孔进行检查，发现有“堆雪人”的苗头及时处理，及时汇报，情况才有所好转。

2.3 窑头煤粉燃烧器油枪及供油系统的改造

该生产线窑头煤粉燃烧器选用的是皮拉德（pillard）四风道燃烧器和带气雾化点火油枪系统。原来的点火油枪曾在生产调试的过程中，使用效果很不理想。主要问题，点火困难，经常性地熄火；油雾化效果差，火焰燃烧无力；油枪头部滴油，油落在窑衬上燃烧，造成窑前砖严重剥落；最致命的是当打开压缩空气阀

门（以加强油枪雾化效果）时，回油会顺着气路跑到压缩空气罐，最后进入袋收尘，这种情况将非常糟糕。

为解决此问题，我们利用现场现有的条件，临时制作了一个新的油枪。并对油枪的原供油系统进行了技改。原油枪需要开压缩空气才能雾化，改造后的油枪通过油泵压力就可直接达到雾化效果，不需要开压缩空气，避免了回油顺着压缩空气管道进入窑头袋收尘可能产生的危险。经观察，新油枪投入使用后，运行一年多来，不仅点火方便、火焰顺畅，而且窑前砖也从未烧剥落过。

2.4 窑头燃烧器的内筒更换及位置调整

原来的燃烧器内筒，由于在前期生产过程中头部烧的有些变形，致使窑的火焰无论怎么调整，都有些分叉扫窑皮。为此，我们对原燃烧器的内筒也进行了整体更换。同时对燃烧器位于窑内的中心位置进行了大幅度地调整，由原来位于窑端面第4象限（+110mm, -50mm），调整为（+35mm, -40mm）；冷态深入窑内位置保持不变，平窑口0mm。经过反复调整内外风的比例试验，最后将内风全开，外风适当关至80%，不仅火焰集中，而且活泼有力。

通过窑头燃烧器内筒的更换，和燃烧器位置的调整，该生产线在此后的几次开窑运行中，烧成带的窑砖一直保持着良好。特别是最近一次烧成带停窑换砖时，窑经过了一年多的运行，烧成带3~18m砖的测量结果，仍能保持厚度14cm以上好成绩。

现在看来，原先因考虑到烧大坝熟料不易补挂窑皮，将燃烧器位置调整至严重偏离，实际上是一个大大的误区。

2.5 化验室原料配比的调整

俗话说治标必须治本，要彻底解决篦冷机堆“雪人”以及窑内结厚窑皮，频繁结球的问题，光靠以上设备上的技改，现场及中控操作上的调整显然是不够的，关键还要从化验室生料成分的控制上抓起。

经分析，我们发现每次窑内出现飞沙严重时，篦冷机就伴随着堆“雪人”现象的出现。同理，每次烧成带结厚窑皮，熟料中的铝、铁含量较高时，窑内就伴

随着大料球和大块料的出现。究其原因，其实是与化验室生料成分控制上的失误，生料成分 SM/IM 出现两种极端有密切关系。为此，我们在生产过程中，要求化验室必须保持入窑生料成分的稳定，在满足熟料强度质量的基础上，严控生料中 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 SiO_2 含量。一般要求入窑生料控制范围为： $\text{KH}=1.10\pm 0.02$ ； $\text{SM}=2.35\pm 0.1$ ； $\text{IM}=1.45\pm 0.1$ ；煤粉细度（ $90\ \mu\text{m}$ 筛余） $\leq 5\%$ 。同时，化验室应注意加强原、燃材料源头的跟踪和监控，当发现矿山石灰石及原、燃料成分发生大幅波动时，化验室应首先做到及时调整，并告知中控操作员引起注意。尽量避免窑内飞砂及结厚窑皮、窑内“结大蛋”等现象的出现。

截至 2015 年 1 月 24 日，生产线自开窑一年多以来，篦冷机从未出现堆“雪人”，窑内也很少出现“结蛋”现象，篦冷机一直保持着正常运行。回转窑实现了 6 个月连续运行，运转率达 98% 以上，创该线自投产以来的最好成绩。

2.6 预热器顶入窑短空气输送斜槽袋收尘管道的改造

调试期间，预热器顶的入窑空气输送斜槽曾多次出现过冒正压现象，袋收尘器的灰斗经常积料堵塞。经分析，由于原空气输送斜槽和入窑提升机顶端收尘管道共用一个小单机袋收尘器，很可能是袋收尘器的抽风设计能力不足。考虑到生料均化库顶袋收尘器的能力可能有富裕，我们试着将空气输送斜槽和入窑提升机顶端所有收尘管道直接连接到入生料均化库的回料管道上，自此以后，收尘效果明显得到改善。

3 结束语

经过现场技术改造和优化，以及加强现场生产管理，目前该生产线烧成系统的产量、质量和主机设备运转率已大幅度提高。窑的熟料产量平均可达 3600~3700t/d， $f\text{-CaO}$ ($\leq 1.5\%$) 合格率 85%，熟料的 3d、28d 抗压强度分别达到 28~32MPa 和 58MPa 以上，熟料的烧成热耗 3100kJ/kg，各项指标均达到或超过了设计指标。本文介绍的实践结果，为我院窑外分解窑在国外的生产、设计，积累了良好的经验。

对俄罗斯总承包项目的几点体会

洪云

(合肥水泥研究设计院, 安徽 合肥 230051)

1 概述

合肥水泥研究设计院(下称总包方)于2008年在俄罗斯承接了一条5000t/d熟料水泥生产线总包工程。由于总包合同签订前业主已与欧洲一家公司签定了主生产线的设计合同和工艺设备、电气设备等供货合同,因此总包合同规定,总包方负责全厂土建、辅助车间及综合管网的设计,全厂钢结构、辅助车间、综合管网的设备供货,以及整个工程的土建施工、设备安装和生产调试等工作。该项目是当时中国公司在俄罗斯承建的最大工业项目,被列入2008年中俄两国经贸交流的重点项目,也是中国公司在俄罗斯承接的唯一含施工安装的总包水泥项目。

总包项目于2008年6月开始施工,2011年8月正式投料生产,2012年7月项目取得最终验收证书(FAC)。

承接该项目时,虽然对俄罗斯当地的环境如:当地税务、清关、财务、人员、物质材料的进口、设计俄化等方面作了调研,但项目实际执行中,遇到的困难远远超过想象。

2 项目实施过程遇到的困难

2.1 业主前期合同对本总包项目的影响

业主前期合同自行采购的欧洲公司设备问题影响严重,设备出现缺件、缺陷及安装出现问题处理缓慢等,许多问题在现场无法解决,需等待欧洲总部的处理。安装过程中,若欧洲公司监理不在现场,设备则不能开箱,更不能安装。监理人员派遣不及时,有时1~2个月都不能到位,而且周末和节假日不上班、到点下班,安装工作现场经常因某个子项的监理没到位,整个子项的安装工作只能停滞。

欧洲公司设计时仅考虑主生产线,没从整个工厂的角度来考虑。如,全厂及

各车间通风、供暖、消防、照明用电等均由我方设计，欧洲公司设计没有考虑这些方面的接口，导致这些方面的用电无法接入，又不同意修改设计。

这些前期合同有关问题的存在，严重影响了总包项目的实施。

2.2 设计、施工安装标准问题

合同约定的设计、施工安装标准为俄罗斯标准，但总包方对俄罗斯标准不熟，很多设计只能委托俄罗斯设计院去设计，而且无法控制。俄罗斯几十年没建过水泥厂，其采用的标准、计算方法及取值系数等并不适应水泥工程，设计方案和图纸审核中也不能很好的协调，导致整个项目的设计方案及工程量比其它国家项目大很多。

2.3 业主审核批准权过大

由于合同未明细业主的审核权和监理的权限，业主过分使用审核权和决定权，导致设计、施工、安装过程极其缓慢，业主方的随意性严重影响了工程建设周期。

2.4 当地的政策环境

按照俄罗斯相关法规规定，总包项目必须以在俄罗斯注册的公司来运营。该项目从合同的签订到项目的实际实施均以俄罗斯公司来运作，而俄罗斯的财务、税法记账方式复杂，其人员费用、材料的入帐出帐，进入的科目不同，税费有很大差别，中国财会人员难以适应，总包方俄罗斯公司财务帐只能由俄方员工处理。这就导致需汇回国内的资金办理时，税收成本极高，且受到海关、银行、税务等部门严厉管控，自始至终均未得到很好的解决。

俄罗斯规定只有持有工作签证才能在俄工作，而在俄罗斯办理工作签证的手续烦杂、周期长，有时甚至需要半年左右的时间，即使短期商务签也需要一个多月。

俄罗斯规定所有进口的设备、材料、机器具均需取得准入、准用证件，操作驾驶施工机器具人员需取得俄方准驾执照，而很多技术工种（如总工、电工、预算管理人员等），必须配备持有俄方注册证书的人员。为此中方人员必须经俄罗斯相关机构培训认证，而且还需要大量聘请俄罗斯持证人员，高峰时项目部现场

聘请的俄罗斯专业人员多达 30 多人。

设备、材料、机器具进入困难。中国进入俄罗斯的设备、材料、工具进关难度大，清关手续复杂，清关及其费用均需总包方自行承担。俄罗斯海关办事效率较低，手续繁杂，清关时间漫长。设备经常被压港，滞港时间经常要 1 个多月，长的需要两个多月。进口货物产生大量的滞港费用，对项目的工期和成本产生很大的影响。

2.5 项目实施中的困难

(1) 图纸的转化设计问题

按俄罗斯的要求，总包方的设计图纸必须经过俄罗斯设计院的俄化才能施工。俄罗斯的设计院普遍规模较小，设计力量薄弱，图纸表达方式跟中国差别很大。俄化进度极其缓慢，转化时间需要经常 3~4 个月，慢的甚至需要 7~8 个月。

(2) 施工阶段存在的问题

俄罗斯雨雪天气较多，项目所在地一年中有 200 多天有雨雪；冬季漫长，一年中有 5 个多月处于冰雪覆盖的状况，最冷天气达零下 37℃，这给施工安装造成了很大困难。

施工人员进入问题。由于工作签证办理周期长，人员进入手续复杂，导致需要的人员不能及时来现场，而且人员派遣成本大量增加。

安装单位工期延误现象严重。由于欧洲公司图纸资料、设备到货的延误，及监理处理问题的速度和苛刻的要求，安装进度极其缓慢，现场经常出现窝工现象。

2.6 工程费用控制和结算问题

按合同规定，必须有通过业主审核的 KC6、KC3、KC2 表及相关资料，才能进行工程费用的结算。流程的复杂性及监理的苛刻，导致工程费用结算困难。

3 俄罗斯实施总包项目的几点经验和体会

3.1 充分评估项目的风险点，制定相应的管控策略

(1) 在俄罗斯项目承接时，应详细了解财务、税收、汇率、清关及相关法律、政策等外部因素的风险，初次进入俄罗斯市场，宜聘请当地专业机构进行咨询、

调查，进行风险评估与控制，聘请当地相关专业人员充实到项目部，不仅成本比国内派遣的低，关键是能够有效解决相关问题。

（2）项目当地的各种许可审批等事项的办理

在项目的实施过程中，当地需要办理的各种许可审批事项较多。如，开工文件、施工组织设计、竣工文件、安全、消防、环境卫生及相关政府部门所需的各种手续、证件（包括个人培训证件）等；项目所需的设备、材料、工具等清关工作；劳工指标、工卡、邀请函等的办理；所需设备、材料、施工器具的各种许可等。这些细节应在项目承接时，尽量在合同中划归业主的工作范围，若必须由总包方承担，应尽早物色当地合适的人选办理，否则不仅会有增加成本的风险，而且一旦因相关事宜办理的不顺，将会极大影响工程的进度。

（3）要充分评估所采用标准的风险

合同中应明确约定设计和施工验收所采用的标准，并应对相关标准在执行时可能带来的方案变更、价格变化进行认真评估；使项目的设计队伍属地化，特别是设计工作，应聘请当地的专业人员，充实到自己的设计施工队伍中来。该项目设计中期，即采取聘用部分当地俄罗斯人与我院设计人员一起工作，这不仅加快了设计进度，而且可有效控制设计方案。

（4）主合同应对业主的审核权、决定权进行明细明确

主合同中应对业主的审核权、决定权进行明细明确，并加以适当约束，否则可能会被滥用，不仅导致总包成本加大，而且影响工程的实施。

（5）主合同的分界线表要明确、具体

合同的工作范围一定要界定明确，特别是总包方承担的责任义务要明确。当出现争议的时候，大多数是总包方买单。对一些无法预估成本的笼统条款，不能放在主合同中。对责任范围不宜分清的部分，最好能签成排他性条款，即明确总包方的工作范围，不在列示范围内的工作内容，由业主承担。

（6）独联体国家的项目，一般都有一个基础设计过程，基础设计要报经国家监管机构审核批准，这也是未来验收的依据。报价应根据业主审批过的基础设计

报价，合同应对技术方案、配置选型描述清晰，以免产生异议。

(7) 在项目实施中应严格按合同或与业主协商的方式，认真监督分包商（或设备厂家）的执行，切不可有唬弄方式骗得业主验收通过，以免带来后续影响。

(8) 如果是非完全的 EPC 合同，除总包方外，尚有第三方参与部分工作，应充分考虑第三方工作可能产生的影响，特别是对工期影响，并应在合同中明确如果产生影响如何赔偿以及具体的补偿条款。

3.2 设计方面

总包方应能掌控设计和图纸转化设计的主动权。如果图纸俄化设计属于总包方范围，总包方应聘俄罗斯相关专业工程师成立设计院，实现总包范围内由总包方自主设计的内容自主进行设计转化，即使有些子项不能设计俄化，中方人员一定要自己设计出中化的草图。对个别不具备设计能力的专业、尽可能争取由业主来实施，如业主方不同意自己承担，总包方必须组织相关技术人员早期参与技术方案，制订技术任务书。

3.3 采购方面

俄罗斯物资设备相对匮乏，采购难度大，现场所需机具设备的采购，一定要提前做好计划。同时充分考虑俄罗斯清关周期漫长的问题。

3.4 现场施工管理方面

(1) 严格选择分包商

选择有实力具有水泥厂建设及国外施工经验的国内分包商，谨慎选择当地分包商，事前做好对分包商的评估工作，且加强合同执行中的过程监控。不可高估当地分包商的合同执行能力，即使对方违约，总包方也很难索赔。与俄方分包商签订分包合同时，注意分项报价和进度款结算问题。

(2) 施工工期和费用应考虑冬季施工的影响，并考虑冬季施工措施费及降效费。

(3) 工程建设中，应有自己的建造监理队伍，控制设备、施工安装质量，对外与俄方监理沟通，体现总承包商的管理水平。

3.5 工程费用控制和结算方面

(1) 合理编制费用分解报表

为便于工程结算，工程报价时，应编制完善的价格分解表。价格分解表要考虑结算的便利性，可以把间接费用、利润、不可预见费、机票、签证等费用计入设备和施工费中。价格分解表的明细要考虑以后结算时，每项均可提供具体的单据或结算资料，不能简单地按形象进度结算。尽量做到不漏项、不多分项。不漏项能够保障完工的部分，能够及时申请到工程进度款；不多分项，可以使每一项工程费用，都有相对应的工程量，避免工程完成后无法取得分解费用的状况出现。

(2) 严格按照规范编制报批材料

施工阶段，为了能够顺利地结算到已完工程的进度款，项目部各专业工程师应严格按照当地的规范编制相关资料，并及时要求业主或业主聘用的监理签字确认。只有经过确认的资料，才能够作为当期申报工程进度款的依据。

(3) 注重付款后的跟踪

因境外项目人员流动性大，可能会出现货款汇出后，货物未到而经办人已经回国了，该款项也就可能无人过问。项目部财务人员对付款二个月未见物资入库的，都要进行跟踪询问查明原因，采取措施防止资金及财产的损失。

4 结束语

该工程项目建设背景和建设条件复杂，俄罗斯对工程实施有非常严苛的规定要求，项目现场冬季漫长，一年中有半年处于冰雪覆盖等各种不利状况，我院作为总包方高度重视，项目参与人员面对困难，积极寻找适合俄罗斯建设项目的途径和方法，使项目最终得以完成，为我院在俄罗斯做总承包项目积累了许多宝贵的经验。

该项目的建设得到了俄罗斯当地政府、有关行业机构充分肯定，俄罗斯《劳动旗帜报》、《彼得堡商务报》、列宁格勒州、斯兰齐市电视台等多家媒体先后对该项目进行过报道，对中国建设者在工程建设中所表现出的技术水平和敬业精神给予了高度评价。

大跨度管桁架安装技术的研究与应用

林红星、王浩

(安徽中亚钢结构工程有限公司, 安徽 合肥 230051)

0 引言

随着我国经济建设的发展, 建筑用钢结构的跨度越来越大。管桁架具有刚度大、自重轻、造型美观、受力合理、经济指标好等优点。因此, 大跨度管桁架结构在体育馆、火车站、飞机场、商业中心和高速公路收费站等建筑中得到了广泛的应用。同时, 大跨度钢结构对安装技术的要求越来越高。我公司承建的安庆高速互通移位改建工程, 设计采用了大跨度钢结构管桁架。本文详细介绍该工程大跨度管桁架安装技术的研究和应用, 为类似工程的施工提供参考。

1 工程概况

该工程钢结构主要由拱桁架、屋面桁架组成。拱桁架通过两端承台处四个支座固定, 屋面桁架与拱桁架焊接, 通过杆件焊接连接, 两端各设置两处弯弧立柱固定, 如图 1 所示。

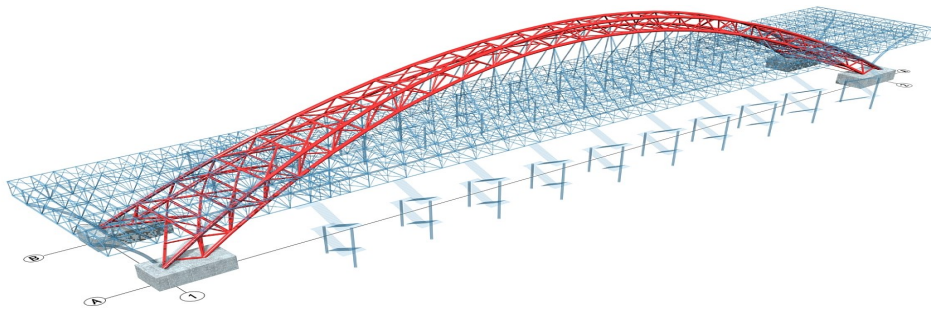


图 1 工程钢结构整体效果图

拱桁架为结构主要受力体系, 由两榀平面桁架联立而成, 跨度 137.018m, 矢高 29.01m。拱桁架均为圆管构件, 通过圆管相贯焊接而成, 构件最大截面规格(弦杆) $\Phi 600 \times 30\text{mm}$, 最小截面规格(腹杆) $\Phi 245 \times 10\text{mm}$ 。钢管为高频焊管或热轧无缝钢管, 材质 Q345B。

屋面桁架由 55 榀平面主桁架平行于结构短轴布置，桁架间距 2.7m，长度方向通过桁架杆件连接。平面轴线尺寸 24m×151.2m，桁架结构厚度 1.6m。屋面桁架均为圆管构件，通过圆管相贯焊接而成，构件最大截面规格（弦杆） $\Phi 219 \times 10\text{mm}$ ，最小截面规格（腹杆） $\Phi 114 \times 5\text{mm}$ 。钢管为高频焊管或热轧无缝钢管，材质 Q345B。

2 工程重难点分析及解决措施

2.1 拱桁架安装难度大

重点难点：安装过程拱桁架为结构主要受力体系，跨度 137.018m，矢高 29.01m，采用双榀平面桁架联立而成，桁架弦杆构件最大规格 $\Phi 600 \times 30\text{mm}$ 。

解决措施：采用分段吊装，共分成 7 段，分段间设置临时支撑，吊装机械采用 200t 履带吊。从两侧向中间对称安装，最后选在合适温度进行中间合拢段施工，最小限度减少安装误差。

2.2 结构体系安装过程稳定性差

重点难点：结构成型后，屋面桁架通过拱桁架及两端弧形立柱支撑，中间形成大跨度结构。施工过程中拱桁架与屋面桁架结构相对独立，整体稳定性差。

解决措施：屋面桁架结构与拱桁架结构均采用从两侧向中间对称安装，同时屋面桁架安装进度略领先于拱桁架，两者均设置临时支撑。拱桁架分段安装完成后即完成其与屋面桁架间的吊杆，形成整体结构，确保施工过程中整体稳定性。

2.3 屋面桁架临时固定

根据拟定施工方案，屋面桁架及拱桁架均采用从两端向中间的施工顺序进行吊装，屋面桁架施工进度略先于其上部拱桁架，其在与拱桁架连成一体前的临时固定为工程施工重点。

解决措施：各分块桁架均设置至少 4 处圆管支撑，支撑位置靠近分块四角。各圆管支撑均至少拉设三根缆风绳进行固定，桁架分块吊装就位后，采用临时杆件与支撑圆管电焊固定，同时在桁架分块两侧各拉设不少于三处缆风绳进行临时固定。

3 安装简介

3.1 整体施工顺序说明

根据工程钢结构形式特点，成型后屋面桁架结构通过吊杆由拱桁架支撑形成稳定体系，现场施工总体顺序拟从结构两端向中部合拢。施工顺序见图 2。

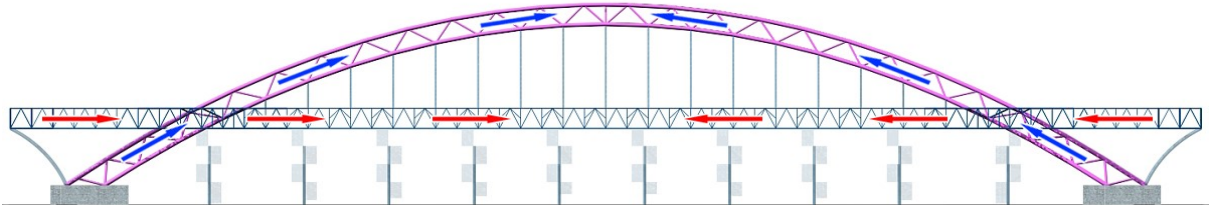


图 2 钢结构施工顺序示意图

屋面桁架吊装进度领先与上部拱桁架，安装完成的拱桁架及屋面桁架即进行吊杆连接安装。

3.2 主要部位施工方法

工程主结构为圆管桁架结构形式，现场施工拟采用桁架地面拼装，分段（块）吊装的施工方法进行。

3.2.1 拱桁架安装

共分成七段安装，采用 200t 履带吊（存在卡杆隐患部位采用塔式工况）进行吊装，从两端向中部合拢。安装过程设置钢管临时支撑；

拱脚段采用单榀吊装，而后安装桁架间联系杆件；上部分段采用平面桁架联立形式分段吊装。

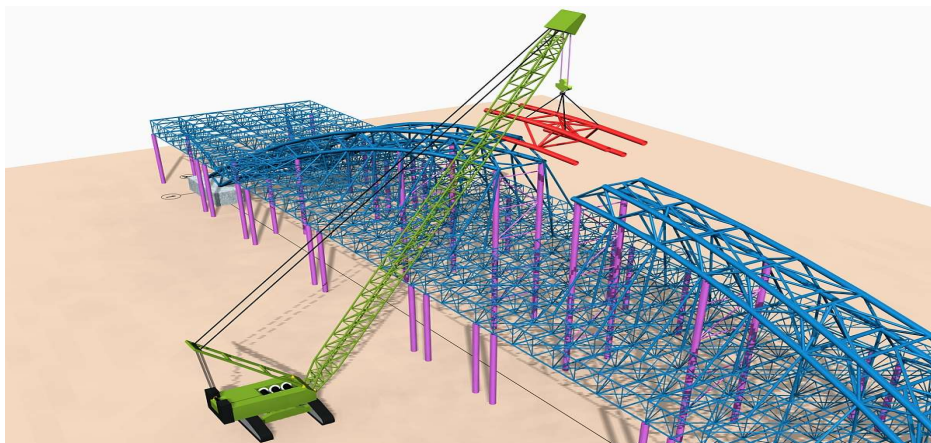


图 3 典型桁架吊装示意图

3.2.2 屋面桁架安装

共分成 11 个分块安装，采用 200t 履带吊进行吊装。从两端向中部合拢，安装进度领先于上部拱桁架；

分块吊装根据分块重心均匀设置至少 4 处吊点，设置临时钢管支撑，分块间杆件高空后补安装。

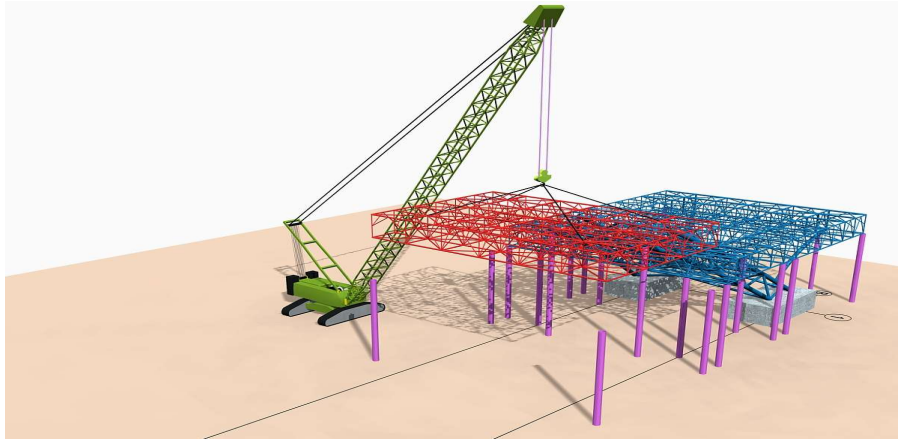


图 4 典型屋面吊装示意图

4 施工设计验算

4.1 计算模型

施工过程的设计验算为本工程的重中之重，关系到结构的安全性、经济性和合理性，因此需要对施工过程进行专门的设计校核。

考虑到计算量与计算效率的因素，在三维有限元整体模型中，需要按照真实结构中不同部分构件的位置及其功能，用不同单元类型进行模拟。在本工程中构件根据具体受力情况和结构类型采用梁单元，梁单元端部释放等来模拟，主材质为 Q345B 钢。临时支撑采用圆形钢管，截面 600*12，材质 Q235B 钢。

同时考虑施工前段对后期阶段位移及内力的延续，采用施工阶段非线性分析。

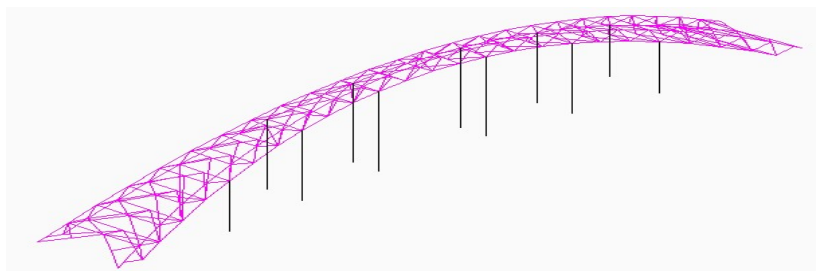


图 5 计算模型

4.2 荷载和荷载组合

(1) 自重：钢结构自重由程序自动统计，结构自重 $\times 1.3$ 来考虑节点重量；

(2) 风荷载：基本风压： 0.25kN/m^2 ($n=10$ 年)，地面粗糙度：B 类。

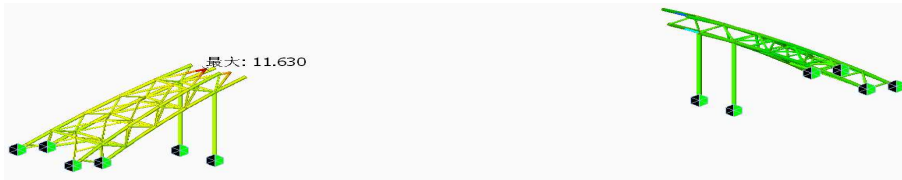
(3) 温度荷载：结构合拢时，考虑升温 $+20^\circ\text{C}$ 。

考虑施工时间较短，其他荷载未考虑。

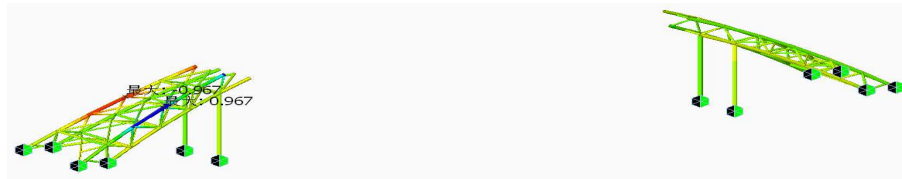
4.3 钢结构部分施工验算

4.3.1 安装过程

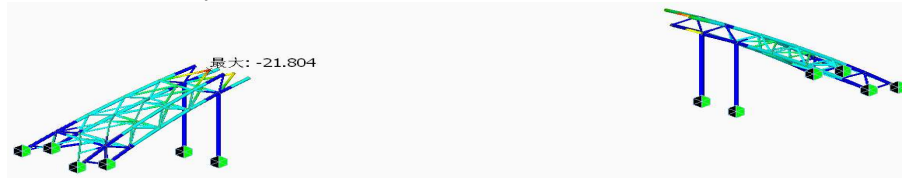
施工工况 1：单元在三个方向上的最大位移分别为 $D_x=11.63\text{mm}$ ， $D_y=0.967\text{mm}$ ， $D_z=21.8\text{mm}$ ，最大应力 54N/mm^2 ，满足要求。



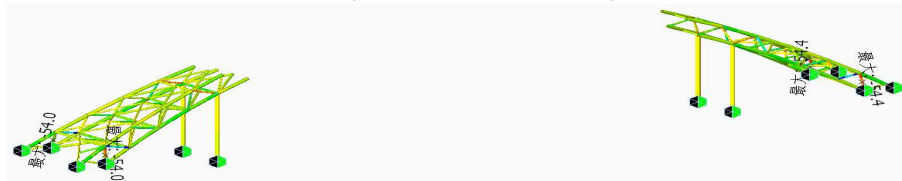
D_x 位移云图，最大位移 11.63mm



D_y 位移云图，最大位移 0.967mm，满足。

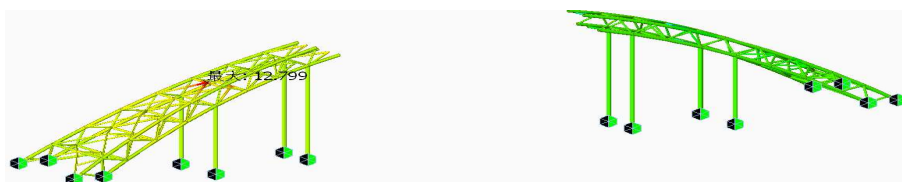


D_z 位移云图，最大位移 21.8mm，满足。

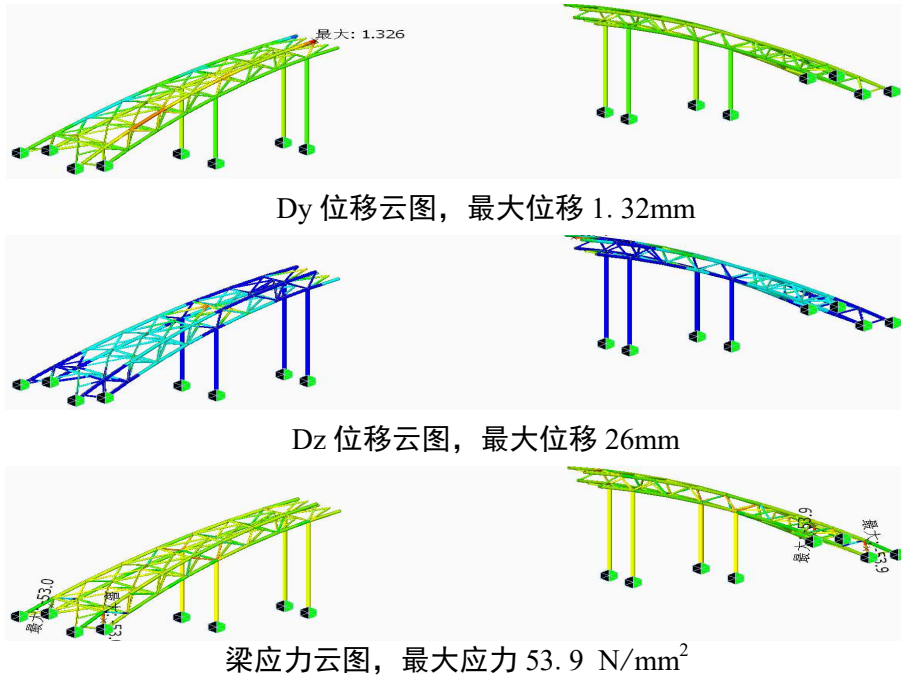


应力云图，最大应力 54 N/mm^2 ，满足。

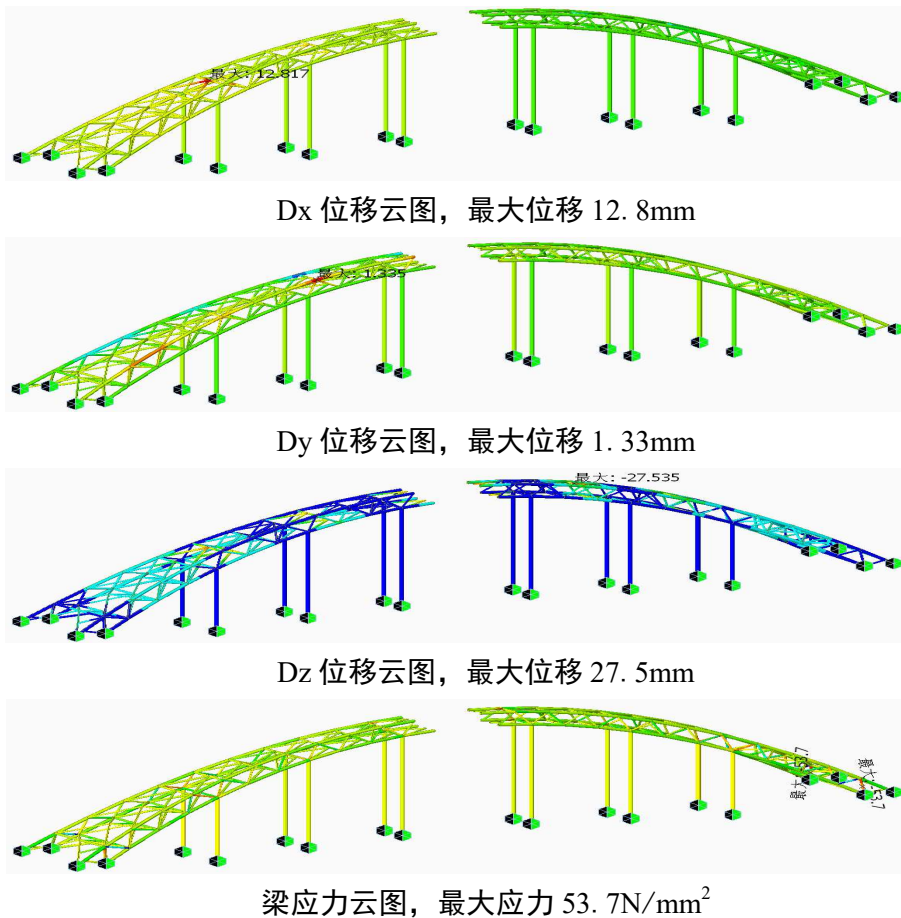
施工工况 2：单元在三个方向上的最大位移分别为 $D_x=12.70\text{mm}$ ， $D_y=1.32\text{mm}$ ， $D_z=26\text{mm}$ ，最大应力 53.9N/mm^2 ，满足要求。



D_x 位移云图，最大位移 12.7mm

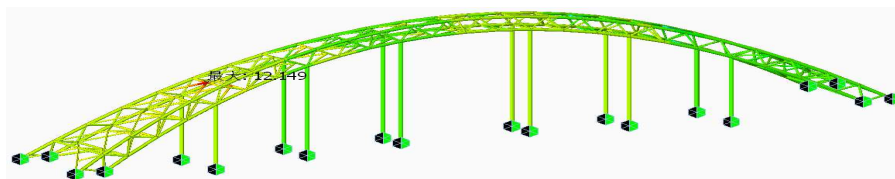


施工工况 3: 单元在三个方向上的最大位移分别为 $D_x=12.80\text{mm}$, $D_y=1.33\text{mm}$, $D_z=27.5\text{mm}$, 最大应力 53.7N/mm^2 , 满足要求。



施工工况 4: 合龙, 单元在三个方向上的最大位移分别为 $D_x=12.10\text{mm}$,

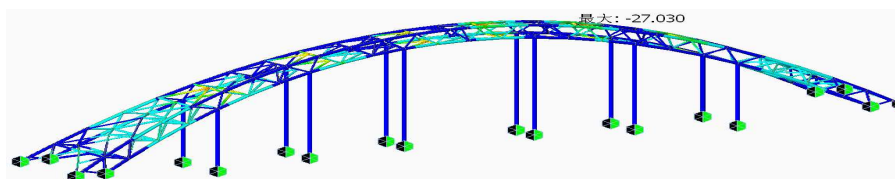
Dy=1.33mm, Dz=27.03mm, 最大应力 49.5N/mm², 满足要求。



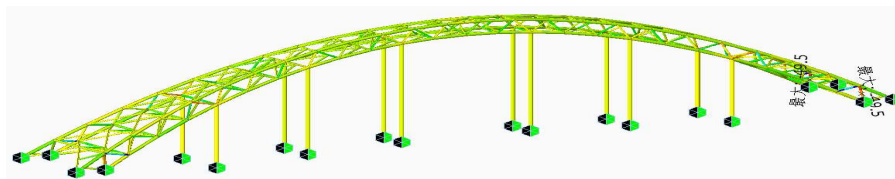
Dx 位移云图, 最大位移 12.1mm



Dy 位移云图, 最大位移 1.33mm

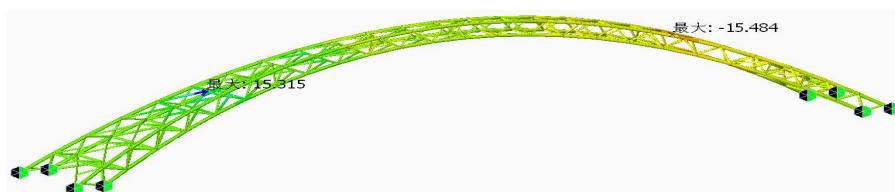


Dz 位移云图, 最大位移 27.03mm

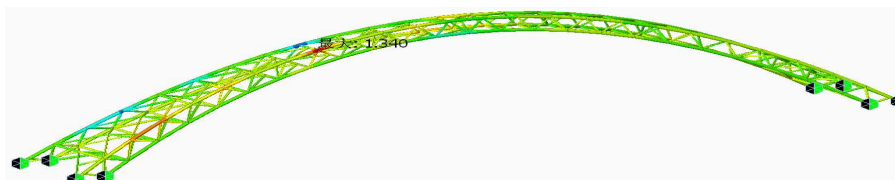


梁应力云图, 最大应力 49.5 N/mm²

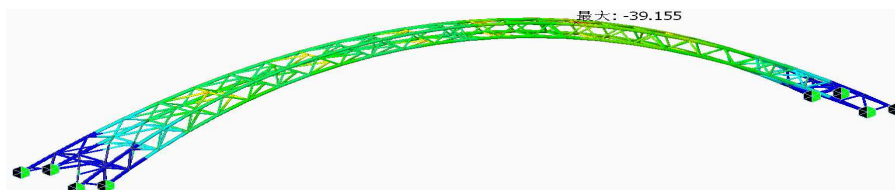
施工工况 5: 单元在三个方向上的最大位移分别为 Dx=15.48mm, Dy=1.34mm, Dz=39.15mm, 最大应力 52.3N/mm², 满足要求。



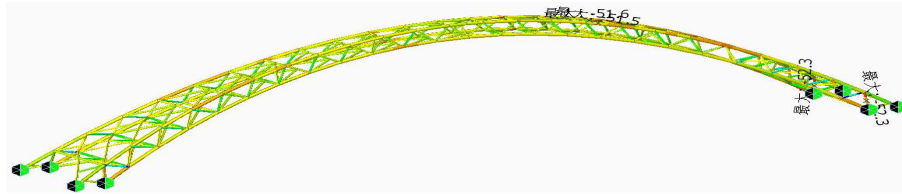
Dx 位移云图, 最大位移 15.48mm



Dy 位移云图, 最大位移 1.34mm



Dz 位移云图, 最大位移 39.15mm



梁应力云图，最大应力 52.3 N/mm²

4.3.2 分析

1) 应力。安装过程中，桁架单元最大应力为 54 N/mm²，发生在安装工况 1，说明原有结构在施工过程中处于弹性变形阶段，应力远小于 310 N/mm²，满足应力要求，结构安全。

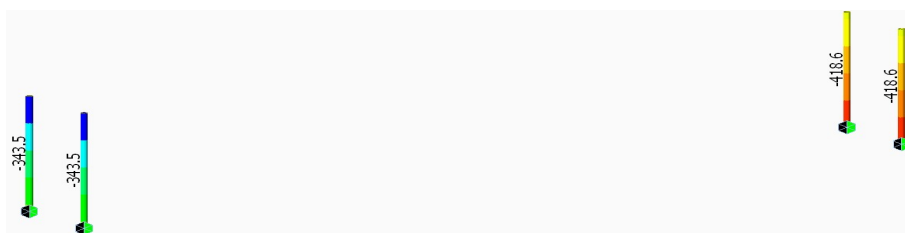
2) 位移。安装过程中，桁架单元最大竖向位移 39.15mm，发生在卸载后工况中，拱桁架肩部位置，39.15mm < 结构最大竖向挠度位移 137m/400=342.5mm，完全满足规范要求，结构安全。

4.4 支撑体系施工验算

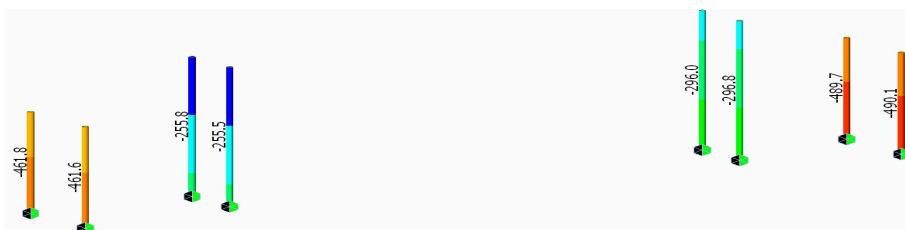
支撑架采用圆管 600×12，长度分别为 15.86m、21.78m、24.76m 对称分布，拱桁架共 6 组（12 根）圆管支撑。

4.4.1 各施工工况支撑体系轴力

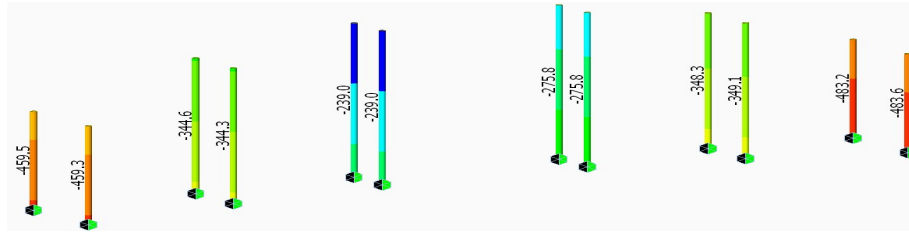
施工工况 1，支撑轴力（见下图）最大值为：-418.6kN。



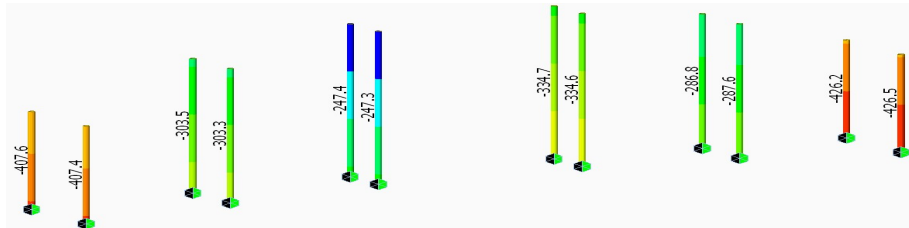
施工工况 2，支撑轴力（见下图）最大值为：-490.1kN。



施工工况 3，支撑轴力（见下图）最大值为：-483.6kN。



施工工况 4，支撑轴力（见下图）最大值为：-426.5kN。



4.4.2 最不利工况下支撑体系内力计算，并适当考虑动力荷载系数 1.1。计算结果见下表。经过计算、验算，采用圆管 600×12 组成的支撑体系，能够满足各种施工工况的要求。

序号	支撑管高度 (m)	长细比	轴向应力 (N/mm ²)		弯曲应力 (N/mm ²)		整体稳定性: 压缩+弯曲	剪切应力 (N/mm ²)	是否满足
			计算	许用	计算	许用			
1	15.86	76.2	490	3392	30098	686865	0.187	0	满足
2	21.78	104.7	349	2501	0	686865	0.086	0	满足
3	24.76	119.1	334	2105	0	686865	0.071	0	满足

5 结论

大跨度钢结构的施工安装方案很重要，要考虑到有利于经济合理、安全可靠和缩短工期等多个方面。本文介绍的安装技术方法，免去了满堂脚手架脚手架的使用，既经济又安全，施工周期短，可供在类似工程上推广应用。

参考文献:

[1] 中华人民共和国国家标准. 钢结构设计规范 GB50017-2003 [S]. 1, 北京: 中国建筑工业出版社出版社, 2015 (1): 34.

[2] 中华人民共和国国家标准. 钢结构工程施工规范 GB50755-2012 [S]. 1, 北京: 中国建筑工业出版社出版社, 2012.

[3] 王 宏. 大跨度钢结构施工技术 [M]. 1, 北京: 中国建筑工业出版社出版社, 2015 (1): 34.

[4] 江正荣. 建筑施工计算手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.7.

[5] 王珮云, 肖绪文等. 建筑施工手册 (第五版) [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.

石灰粉喷桩处理软土地基的应用与技术分析

蒋少钦

(合肥水泥研究院, 安徽 合肥 230051)

西山水泥厂石灰石预均化库, 按工艺设计要求需要堆 7~12m 高石灰石碎石。地勘报告显示, 该区域分布着大面积的淤泥质粘土, 其特征是淤泥含水量约在 65%, 颗粒处于半流动-流动状, 甚至处于浮动状, 其承载力低, $f_{ak} < 80\text{kPa}$ 。由于工程建设实际的需要, 建筑物的基础必须设于该淤泥质粘土层上, 但淤泥质粘土多从表土层下数米至数十米, 其竖向变形量是不适用作地基, 故必须进行人工处理, 改变其淤泥质粘土的力学性能, 使其达到工程结构要求。经过反复比较, 最终采用石灰粉喷桩加固。

1 石灰粉喷桩加固软土地基的特点

石灰粉喷桩是在机械钻机成孔的过程中, 通过高压将粉状生石灰喷入淤泥质粘土内, 通过钻头旋转进行快速粉喷, 使生石灰粉与淤泥质粘土得到充分混合, 经过一系列的物理化学反应, 同时改变淤泥颗粒间的结构, 促使混合物在软土层中固结成具有较好整体性、水稳性的高强度的柱状土加固体, 达到提高软土地基的强度, 从而达到加固软土提高承载能力, 减少变形量, 使其符合工程结构要求的目的。

1.1 生石灰在淤泥质粘土地基中的作用原理

1.1.1 生石灰在淤泥质粘土中的化学反应主要在粉喷的过程中完成:

(1) 生石灰粉在淤泥质粘土中进行了强制粉喷均匀后, 生石灰很快产生水化作用, 形成 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 。在生石灰变为熟石灰的过程中, 吸取淤泥质粘土中的水分, 产生大量的热量, 并发生体积膨胀, 挤密淤泥质颗粒, 提高淤泥质的强度, 在粉喷桩体内改变了淤泥质粘土的颗粒组织结构, 对桩外的淤泥质粘土起到压密作用。

(2) 生石灰 CaO 与水的化合反应, 降低淤泥质的水分, 使粘土颗粒周围水

膜厚度减薄，土的塑性降低，颗粒粘结力增加，土体的强度提高。

1.1.2 熟石灰中的 Ca^{2+} 与粘土颗粒中的活性硅、铝等矿物，将继续发生化学反应，并在进一步吸收结合水后形成多种结晶，成为整体，其作用过程的持续时间较长，同时提高土体强度。

1.2 石灰粉喷桩的物理作用

1.2.1 粉喷桩在高速、高压的粉喷过程中，桩体内的颗粒被挤压及石灰粉的吸水胶结作用，原淤泥质粘土中的硅、铝矿物质与钙形成的结晶固化体，桩体内固化体强度提高较多，一般可达 $f_{ak} \geq 120\text{kPa}$ 。

1.2.2 在桩体内的胶结体除强度提高外，由于粉喷过程中生石灰的吸水反应，使粘土含水量大幅度减少，幅度一般可达 20%~50%。同时，桩身外围含水量也会受高速、高压、挤压作用而减少。在桩径 $\Phi 50\text{cm}$ ，桩间距 $B=100\text{cm}$ 的情况下，在桩顶可见的吸水范围现象与上述原理基本相符。该现象在西山水泥厂石灰石预均化库地基粉喷桩完成时，桩顶及桩顶周边可直接观察到这一结果。

1.3 石灰粉喷桩与桩间土成为复合地基

软粘土经石灰粉粉喷桩加固后，粘土与石灰粉之间存在较强的化学、物理作用。因此，地基应按土体、桩身共同作用考虑，即成为复合地基，承受结构物基础传至的荷载。

1.3.1 复合地基承载力检测

(1) 单桩承载力，按工程基础设计文件要求，一般单桩承载力在 100kN~160kN，西山水泥厂石灰石预均化库基础单桩按 120kN 设计。

(2) 复合地基承载力，即按桩和加固土共同受力，西山水泥厂石灰石预均化库基础设计要求地基承载力 $P_f \geq 150\text{kPa}$

1.3.2 复合地基沉降量检测

西山水泥厂石灰石预均化库，设计要求地基沉降量 $\Delta_{kf} \leq 18\text{mm}$ ，设计不均匀沉降量 $\Delta_u \leq 6.5\text{mm}$ ，

静载试验结果： $\Delta'_{sf} = 15.3mm < 18mm$
 $\Delta'_u = 5.8mm < 6.5mm$

2 石灰粉喷桩复合地基沉降量的计算

石灰粉喷桩属于低强度可压缩的柔性桩，能与桩周外土体共同作用，在外荷作用下能共同受力，桩长范围采用复合压缩量法（EC 法），即采用复合压缩模量来评价复合土体的压缩性。在刚性基础（钢筋砼整体基础作用下，桩与土能较好地协调变形）故采用：

$$fp / Ep = \sigma_s / Es = \lambda$$

$$\text{故 } Esp = mEp(1-m)B's$$

$$= [mEp / Es + 1 - m]E' s$$

$$= [1 + m(\lambda - 1)]E' s$$

fp —桩顶应力

σ —基底与桩间土体接触应力

Esp —复合土层的复合压缩模量

Ep —桩体压缩模量

Es —桩间土整压缩模量

m —桩的置换率

λ —桩土应力比

1.5m	素浇土
3.0	
2.5m	混合土 $fp=100kpa, E_1=4.5mpa$
4.0	
5m	粉质粘土 $fs=80kpa, Es=3.2mpa$
6m	淤泥质土 $fs=60kpa, Es=2.8kpa$
	亚粘土 $fs=140kpa, Es=4.5kpa$

3 西山水泥厂石灰石预均化库地基承载验算

3.1 库基础设计

库基础设计为筏式整体钢筋砼基础，尺寸为 $50m \times 6m$ ，钢筋混凝土基底压力 $150kPa$ ，基底标高为 $95m$ 。

3.2 沉降值计算

筏板式基础沉降值采用分层总和法进行计算，最终沉降值 S ，计算公式为：

$$S = \Psi S' = \Psi S \sum_{i=1}^n \frac{Po}{Esi} (Z_i \sigma_i - Z_{i-1} \sigma_{i-1})$$

式中：

S —按照分层总和法计算出的地基沉降量，mm

ψ_s —沉降计算经验系数，参考相同地层的沉降观测值及经验取值

n —地基沉降计算深度范围内分层数

P_0 —设计荷载时基础地面附加压力，KPa

E_{si} —基础地面下第 i 层土的压缩模量，MPa

Z_i Z_{i-1} —基础底面至第 i 层，第 $i-1$ 层底面距离，m

σ_i σ_{i-1} —基础底面的计算点至第 i 层土，第 $i-1$ 层土底面范围内平均附加力系数

3.3 计算验证与监测

西山水泥厂石灰石预均化库地基采用石灰粉喷桩处理方案，地基应力及沉降量分层总和法计算值与观测值的比较：

设计计算地基承载力为 $P_f=150\text{kPa}$ ，按复合地基沉降采用分层总和法计算公式计算，地基沉降量为 $S=16.7\text{mm}<18\text{mm}$ ，满足设计要求。

该工程在满荷重使用半年后，沉降观测值为 13.5mm 。

4、结论

西山水泥厂石灰石预均化库地基工程采用石灰粉喷桩处理技术，按上述理论公式计算并与观测值进行比较，结果基本接近，能够满足设计要求。但最终沉降值的计算，需要依靠相似地层的试验统计值，因此，上述结果可供设计参考。

参考文献：

[1] 王刚，石灰搅拌桩处理软土地基技术研究，山西建筑，第 33 卷第 30 期，2007 年 10 月

生料均化库异常裂缝的分析与处理

刘万常

(合肥水泥研究设计院, 安徽 合肥 230051)

1 基本概况

1.1 情况了解

某水泥公司生料均化库所在的厂区坐落在长江沿岸, 2004 年开始施工, 2005 年底投入使用。库体为钢筋混凝土筒仓结构, 库内径 15m, 库壁厚 0.30m, 库体支承壁厚 0.60m, 库底为倒锥形, 库高度 46.0m。据现公司有关人员介绍, 自 2008 年 5 月公司就发现库体外侧标高约+18m 以上出现细小裂纹(见图 1), 随后即请施工单位对部分较大裂纹进行了砂浆粉刷处理。2011 年 3 月停产检修期间, 公司生产管理人员发现原裂缝较上次观察有较明显扩大的迹象, 公司对此非常重视, 并于 2011 年 3 月召集施工、设计、监理等有关人员召开了现场会议。



图 1 2008 年 5 月库体外侧裂纹照片

1.2 现场状况

2011年3月27日下午,通过对现场观察发现,在库体仓壁外侧四周自标高+8.00m以上到标高+35m左右,出现很多细小竖向裂缝,部分裂缝宽度超过2mm。裂缝横向间距约300~500mm,在+18m~25m之间段尤为突出,且变化较明显,局部出现混凝土保护层脱落显露钢筋(见图2、图3)。但库体支承壁,现场仔细观察,没有发现裂缝及异常。



图2 裂缝照片



图3 局部裂缝照片

1.3 设计情况

生料均化库工程抗震设防烈度为6度,设计基本地震加速度值为0.05g,设计抗震分组为第一组,基本风压 $w_0=0.40\text{KN/m}^2$,基本雪压 $s_0=0.45\text{KN/m}^2$;生料均化库库体混凝土设计强度C30,基础采用桩基,共12根 $\text{Ø}1200$ 钻孔灌注桩,桩身混凝土C35,桩端持力层为⑧层石灰岩,进入岩内1000。具体结构设计见图4。

2 裂缝原因分析

2.1 设计因素

经过对生料均化库设计图重新计算核对,从库体的桩基到上部的支承壁和库壁都能满足设计规范的要求。生料均化库7.680m标高以下支撑壁部分没有出现任何异常的现象,门窗洞口四周也基本完好,这说明桩基及7.680m以下支撑壁不存在不安全的问题。

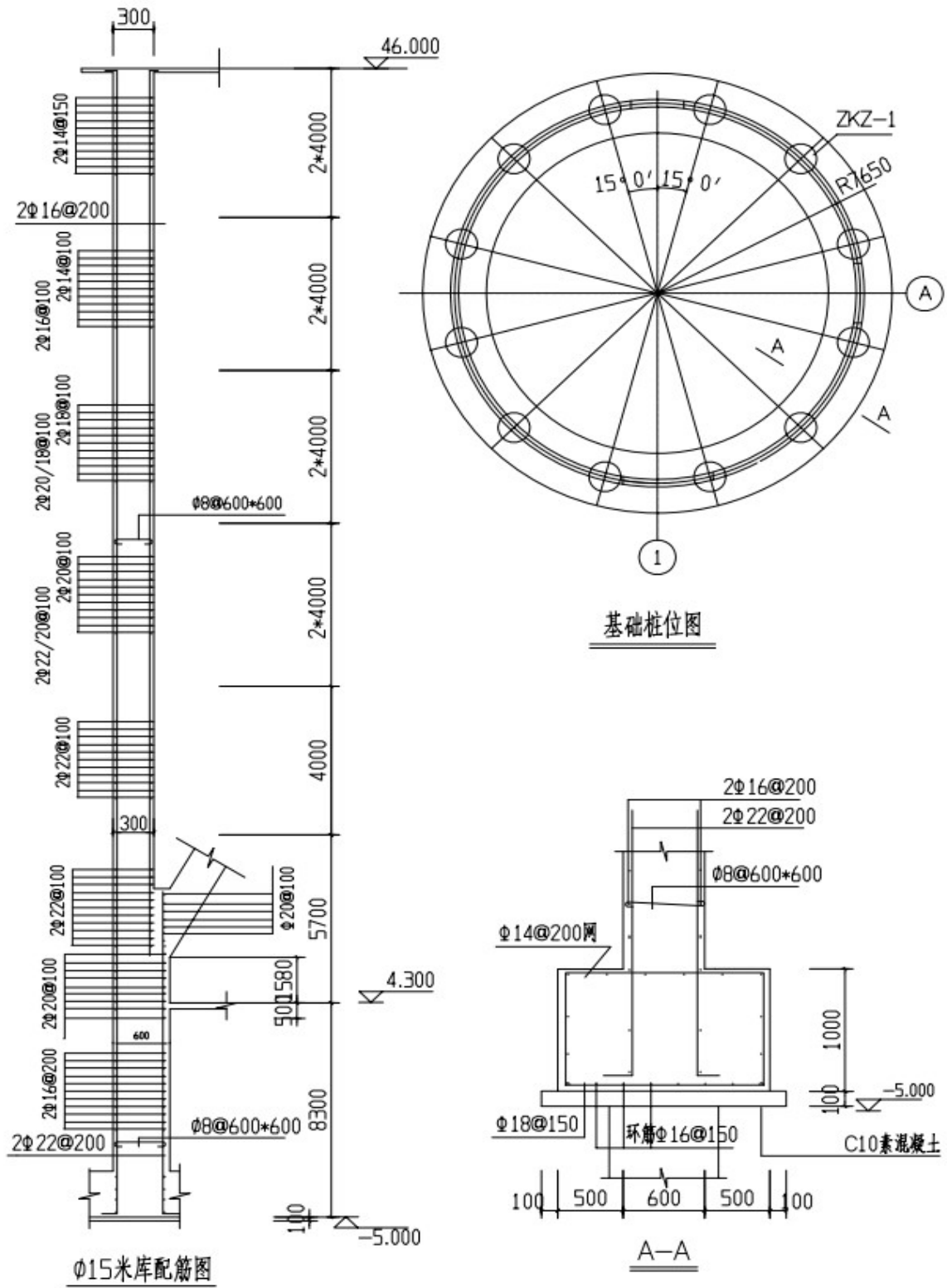


图4 均化库结构设计图

生料均化库 7.680m 标高以上仓壁部分。竖向钢筋满足规范要求的下部 1/6 范围内 0.40%，其它不小于 0.30%最小配筋率（见表 1）；环筋设计基本上满足要求（见表 2）。

表 1 生料均化库 7.680m 标高以上仓壁部分设计参数

分段点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
仓壁厚度 (mm)	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
混凝土标号	C30	C30	C30	C30	C30	C30	C30	C30	C30	C30
分段所对应的标高 (m)	39.57	36.02	32.48	28.94	25.40	21.85	18.31	14.77	11.22	7.68
仓壁垂直应力设计值 (N/mm ²)	0.41	0.65	0.97	1.35	1.78	2.26	2.78	3.33	3.91	4.51
混凝土抗压强度设计值 (N/mm ²)	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3
竖向配筋配筋率	0.67%	0.67%	0.67%	0.67%	0.67%	0.67%	0.67%	0.67%	0.67%	0.67%

表 2 生料均化库环筋设计参数表

仓壁分段数	自库顶向下的高度(标高 m)	仓壁环向拉力最大标准值 $N_{hs}=p_h*d_0/2$ (kN/m)	环向钢筋直径 (mm)	环向钢筋间距 (mm)	环向钢筋配筋面积 A_s (mm ²)	实际受拉钢筋配筋率 $\rho_{te}=A_s/(1000*t)$	受拉钢筋最大标准应力 $\sigma_{ss}=N_{\theta}/A_s$	最大裂缝宽度 【0.2mm】 $W_{max}=2.7*\psi*\sigma_{ss}*(1.9*c+0.08*d/\rho_{te})/E_s$
1	39.57	147.34	14	150	2052.5	0.684%	71.79	0.0328
2	36.02	332.41	14	150	2052.5	0.684%	161.95	0.0739
3	32.48	544.18	14	100	3078.8	1.026%	176.75	0.1505
4	28.94	703.86	16	100	4021.2	1.340%	175.04	0.1957
5	25.40	813.03	18	100	5089.4	1.696%	159.75	0.1891
6	21.85	903.97	18/20	100	5686.1	1.895%	158.98	0.1964
7	18.31	979.73	20	100	6283.2	2.094%	155.93	0.1965
8	14.77	1042.84	20/22	100	6942.9	2.314%	150.20	0.1904
9	11.22	1095.42	22	100	7602.7	2.534%	144.08	0.1826
10	7.68	1139.21	22	100	7602.7	2.534%	149.84	0.1934

通过计算,最大裂缝满足规范 0.2mm 的要求。

2.2 使用因素

据公司生产人员介绍,生料均化库在使用阶段没有发生下料不畅、库体也没有受到较大的水平外力等不正常现象。

2.3 施工因素

生料均化库的库壁破坏的状况,基本上是间距约 300~500mm 的竖向裂缝,

个别局部混凝土保护层脱落显露钢筋，说明库壁的破坏是受拉破坏。受拉破坏有以下几个原因：a. 钢筋量不足；b. 钢筋强度不足；c. 混凝土强度没有达到设计要求；d. 钢筋保护层没有达到设计要求。由于现场观察有局限性，且在施工过程中是否存在以上一种或几种因素，以及有没有其他因素尚不明，若需进一步弄清原因应请有鉴定资质的单位进行现场鉴定和试验。

水泥公司于 2011 年 3 月 30 日，邀请质检部门对库体混凝土强度进行了简易的检测，混凝土采用回弹仪检测，选了两点进行检测，回弹均值达 43 以上，折算为混凝土强度大于 C30，经评定混凝土强度均达到设计要求的 C30 混凝土强度。2011 年 3 月 31 日，质检部门对库体钢筋保护层、钢筋间距进行检测，标高 10m 处钢筋间距分布均匀、基本符合设计要求（环筋@100、竖向钢筋@200），钢筋保护层超设计要求（设计要求 30mm），实测值 55~120mm。标高 19m 处钢筋间距分布不够均匀，间距也不满足图纸设计要求（环筋@100、竖向钢筋@200）。因受条件限制，抽测区域以及抽检点数不规范，不具备抽测代表性，质检部门未出具正式试验报告，检测数据仅供参考。

3 结构加固及建议

生料均化库的开裂已比较严重，对结构安全性存在一定的隐患，对结构的耐久性造成严重影响，对正常生产运行也有一定的影响，因此必须对结构进行加固处理。

加固方案：由于库体混凝土检测强度满足设计要求，仅在原库体外侧加 160 厚钢筋混凝土，加固方案见图 5。

实施加固方案还应注意以下问题：

（1）建议公司应长期建立专人对生料均化库沉降和倾斜等进行观测，以便及时发现问题，杜绝安全事故的发生。

（2）结构加固时，如不停产施工，需尽量降低库内生料料位，减少仓壁受力。

（3）结构加固完成后，生料均化库需要放空生料在库内部进行裂缝灌浆处理。

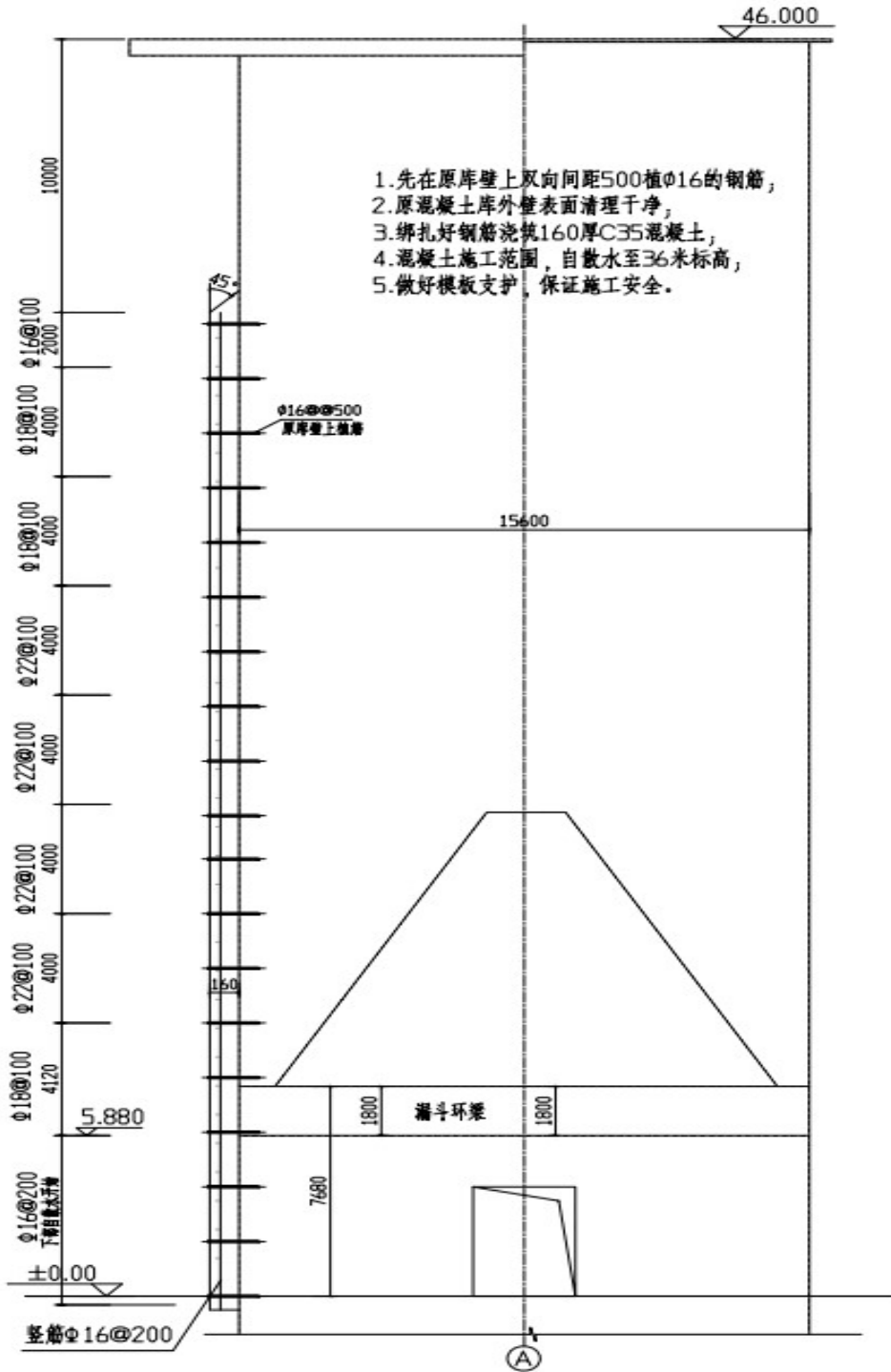


图 5 均化库结构加固方案图

4 结束语

本工程于 2011 年 7 月进行加固施工, 2011 年 9 月加固完成, 使用至今已有 5 年, 没有发现任何问题。这说明加固效果比较好, 水泥公司比较满意。

熟料库加固修复的设计及施工组织方案

张长根、董哲武

(合肥水泥研究设计院, 安徽 合肥 230051)

0 引言

某水泥公司一座 $\phi 40\text{m}$ (带 $\phi 12.5\text{m}$ 中心库)的熟料库经八年多的生产运行后,因中心库库壁局部坍塌引起中心库库顶平台整体下沉,并造成熟料拉链机钢廊支座处断裂,屋顶轻钢屋盖系统部分坍塌。因业主发现及时并果断采取了停止生产、保护观察等一系列有效措施,防止事故进一步扩大,从而避免造成更大的损失。随后的当务之急就是如何加固和修复现有熟料库支承平台及钢屋盖系统,修复拉链机钢廊熟料输送。在保障安全生产的前提下,尽快恢复生产,最大限度减小生产损失。

1 事故的成因及趋势

在寻求该事故熟料库的加固和修复方案之前,我们必须首先找到引起事故发生的主要因素及其他关联因素,并对事故的成因及趋势进行深入分析,然后才能对症下药提出加固和修复方案。

1.1 事故的成因

1.1.1 带中心库的熟料库结构特点

直径 $\phi 40\text{m}$ 带中心库的熟料库仓顶结构方案,是九十年代在当时结构设计技术条件下,为减小屋盖跨度以及解决拉链机卸料平台的支承问题而出现的。在熟料库中央位置设置一个中心库,实现以下功能:

- (1) 利用中心库顶平台支承拉链机和卸料装置的钢廊道以及平台上的维护系统。
- (2) 利用中心库库壁外侧周边设置的牛腿作为熟料库轻钢屋盖结构的内圈支座,从而减小钢屋盖结构的计算跨度。
- (3) 工艺上利用中心库库侧周边不同高度处设置的孔洞向外围连续卸料,实

现熟料的均匀布料和储存功能。

1.1.2 带中心库的熟料库结构方案的安全风险

熟料库增设中心库后虽然具有上述优点，但同时也存在不少缺点，特别是中心库主体结构的稳定性形成了较大的安全风险，主要体现在以下几个方面：

(1) 中心库位于熟料库的中央位置，其内、外库壁长期受到不均匀堆料荷载的挤压影响，甚至可能因中心库内、外侧熟料堆积的高度差，对中心库形成很大的倾覆荷载，使中心库库壁整体弯曲偏移、极端情况会引起中心库的整体倾覆。

(2) 熟料经拉链机输送直接进入熟料库，其温度一般在 120~200℃之间，因此中心库内、外库壁钢筋长期经受高温腐蚀影响。高温对库壁结构主要影响是：混凝土与钢筋材料承受高温将导致其应力过高，可能造成材料强度不足。在高温下钢筋脱碳变质、混凝土疏松，混凝土保护层出现空鼓，与钢筋粘结力被破坏，混凝土质量薄弱处的裂缝逐渐发展，严重部位混凝土发生胀裂，从而加速钢筋腐蚀和混凝土的疏松龟裂。

(3) 由于中心库库顶进料方式的局限性，熟料通过库顶平台进入中心库时易发生跑料和偏料现象，对某个高度范围内的库壁长期冲刷和剧烈磨损，造成混凝土疏松，混凝土保护层剥离，甚至造成钢筋破坏。

因此，在以上多种不利因素的综合影响下，易造成中心库库壁钢筋与混凝土完全分离，钢筋脆性断裂，库壁下沉、倾斜和坍塌，进而引发拉链机钢廊与支承结构连接处断裂、钢结构屋盖系统坍塌事故，造成长时间停产，严重的还会造成中心库和上部屋盖结构整体坍塌。

1.2 事故的发展趋势

熟料库的中心库一旦发现库壁混凝土脱落、钢筋严重分离断裂、库壁严重向外凸鼓现象，即表明中心库已失去作为支承结构的基本功能。虽然暂时尚未发生整体坍塌，但整个中心库的库壁钢筋混凝土结构已受到严重破坏，处于整体失稳状态，若不及时停产并采取有效加固修复措施，极有可能发生更大的坍塌事故。

某公司 $\phi 40\text{m}$ 熟料库生产运行八年多，熟料中心库出现局部坍塌，轻钢屋盖

系统部分坍塌，事故现场照片见下图。



根据现场踏勘和对熟料库中心库破坏的照片、监控录像等资料的分析，熟料中心库发生破坏原因与上述分析基本一致。熟料中心库的库壁钢筋已脱碳变质、混凝土疏松，距离库底板 15m 左右处库壁钢筋与混凝土完全分离、混凝土脱落，部分钢筋断裂，库壁上半段整体下沉 30cm 以上、库壁下半段因失去环向约束受熟料胀库压力影响向外凸鼓，库壁上、下段有明显错位现象；拉链机钢廊支座底板与支承结构平台预埋件连接处，焊缝断裂分离达 30cm 以上，轻钢结构屋盖系统部分坍塌、生产中斷。各种现象表明该中心库已完全散失了作为支承结构的基本功能，其主体结构已处于整体失稳状态，必须立即拆除消除安全隐患。

为了尽快恢复生产，加固方案有两种，一是保留中心库加固修复，二是立即拆除中心库彻底消除安全隐患。通过以上的分析，很显然应尽量选择后者。如果仅靠加固修复保留中心库还是不能彻底消除安全隐患，因此应当废除中心库，采用大跨度新型熟料库钢网架圆台壳体结构，替代现有中心库支承的轻钢屋盖结构。

2 加固及修复设计方案

结合现场踏勘成果和类似工程加固改造的经验，我们对该熟料库的加固和修复提出以下设计和施工组织方案：

(1) 立即拆除现有已部分塌陷的轻钢屋盖结构，以便为下一步拆除中心库提供空中垂直吊装运输做准备。因为该熟料库周边没有预留检修库门，故所有的垂直运输都只能在此处空中吊装。

(2) 设置临时钢结构支架，将原支承在中心库库顶平台（标高 42.4m）处的拉链机钢廊和另一条皮带输送钢廊临时固定，直至新设置的钢网架支承平台安装结束后，再原位恢复拉链机钢廊及皮带输送钢廊的支承和固定。

(3) 对已破坏的熟料中心库进行拆除前的必要支撑和安全防护，然后采用机械拆除作业或静态定位爆破技术撤除中心库。

(4) 拆除中心库后，熟料库的加固修复方案设计采用大跨度新型熟料库钢网架圆台壳体结构替代原有带中心库支承的轻钢屋盖结构。该设计方案取消了原中心库支承结构，并完善了卸料方式，因此能够完全消除由中心库风险因素造成的结构安全隐患，同时又有能提高熟料储存量和均化效果。由于大直径熟料库库顶结构设计采用大跨度新型熟料库钢网架圆台壳体结构技术已比较成熟，故近年来新建的熟料库（直径 $\phi 40\text{m}$ 、 $\phi 60\text{m}$ 、 $\phi 70\text{m}$ ）均已不再设置中心库，而采用这种新型结构技术，既节省了工期、消除了安全隐患，又降低了造价，取得了良好的经济效益和社会效益。

(5) 补强加固原有 $\phi 40\text{m}$ 库壁：由于熟料库新的加固修复方案废除了中心库，原熟料库的结构型式和结构受力状况发生了变化，直径 $\phi 40\text{m}$ 库壁的储料压力有所增加，经过验算原库壁环向钢筋面积不够，因此必须进行补强加固。考虑到熟

料库库壁的受力特性和工作环境因素，库壁外侧的补强加固采用外粘钢板加固法进行设计和施工，且在库壁内侧增设 35mm 厚高强耐磨层，以便减小物料对库壁的剧烈磨损影响。

3 施工组织设计方案

在加固修复前，根据原有结构的受力特性和现场条件，制订施工组织设计方案如下：

3.1 分项工作 A

拆除拉链机及皮带机，将拉链机廊和皮带机廊整体保护好吊下堆放。此项工作可视现场条件，工期估算在 7 天。

3.2 分项工作 B

对已破坏的熟料中心库在撤除前设置必要的支撑安全防护。本项工作可与分项工作 A 同时进行，至本项工作结束累计总工期为 7 天。

3.3 分项工作 C

拆除现有已部分塌陷的轻钢屋盖结构。本项工作工期估算在 5 天左右，累计总工期为 12 天。

3.4 分项工作 D

按撤除中心库后的熟料库重新进行设计验算，并按熟料库新的结构型式进行加固修复设计工作。此项工作内容包括：

- (1) 熟料库拉链机支承与卸料装置平台的工艺重新布置；
- (2) 大跨度新型熟料库钢网架圆台壳体结构及钢屋盖系统的设计；
- (3) 拉链机支承平台及其上部维护结构的设计；

(4) 原有 $\phi 40\text{m}$ 库壁的补强加固验算和结构设计。本项工作可与分项工作 A~D 同时进行，工期约 20 天。累计总工期为 20 天。

3.5 分项工作 E

采用机械拆除作业或静态定位爆破技术拆除中心库，本项工作由专业拆迁公司实施，待分项工作 A~C 项工作结束后进行，工期约 10 天左右，累计总工

期为 30 天。

3.6 分项工作 F

新型熟料库钢网架构件以及围护结构的材料采购和加工制作，本项工作可与分项工作 E 同时进行，不占用总工期。本项工作应由专业钢结构公司实施。

3.7 分项工作 G

外粘钢板加固法补强加固原有 $\phi 40m$ 外侧库壁，并在库壁内侧增设 35mm 厚高强耐磨层。本项工作应由专业加固公司现场施工，工期约 20 天（部分可与 E 项目交叉作业 10 天）。累计总工期 50 天。

3.8 分项工作 H

新型熟料库钢网架及其围护结构现场安装。本项工作工期约 30 天。本项工作应由专业钢结构公司实施。累计总工期 80 天。

3.9 分项工作 I

钢网架平台安装结束后，拆下的拉链机廊和皮带机廊重新吊装就位，恢复安装拉链机及皮带机设备。本项工作可与 H 项工作交叉专业，不占用总工期。

4 结语

根据上述熟料库加固修复工程设计方案和施工组织设计方案，熟料库加固修复项目设计施工总工期预计约 80 天，工期可能根据现场施工条件及其它因素有所变化，故总工期仅供参考。目前还有一些水泥企业的熟料库是带中心库支撑的结构形式，存在一定的安全风险。企业应对中心筒库进行定期安全检查，发现隐患应尽快整改，保障结构安全，预防事故发生。

水泥厂变电站自动化运用中的问题

叶凤芹、赵 龙

(合肥水泥研究设计院, 安徽 合肥 230051)

随着中国电力工业的发展, 以及计算机、通信等技术的不断进步, 变电站自动化系统的运用, 作为提高电能产品质量的技术手段之一, 它直接保证电力生产的高质量和高效益。

目前我院在水泥厂设计中, 变电站采用自动化系统。自动化系统是应用计算机与网络通信技术, 将站内设备(包括微机继电保护及自动装置、测控、直流系统等)以互联的方式与主机实现数据交换与处理, 从而构成一种服务于电网安全与监测控制, 全分散、全数字化和可操作的自动控制系统。

1 变电站自动化系统的实践认识

变电站自动化系统并不是一个“即插即用”的系统。虽然现场总线及计算机技术的采用减少了二次电缆和简化了设备, 降低了施工强度, 提高了系统性能, 但这也意味着整个系统信息量的提升, 我们需要将大量的精力放在基础数据的录入, 系统数据库的建立以及设备评价、系统对输入输出点、抗干扰措施、个子系统的联合调试等工作上。而且它们在设备的调试阶段就需要解决, 它并不是一个把系统连上就完成了, 还需要做大量的工作。

2 变电站自动化系统的功能

系统与用户之间的交互界面为视窗图形化, 利用鼠标控制所有功能键等标准方式, 使操作人员能直观地进行各种操作。

系统应用程序的每一项功能均能按用户要求及设计而改编, 以符合实际需要, 并可随变电站的扩建或运行需要而灵活地进行扩充和修改。一般情况下系统可以按以下基本功能配置: 系统配置状况、变电站单线图、报警表、事件表、遥控修改继电器整定值、操作闭锁、电量报表、趋势图。

(1) 变电站单线图：可显示变电站系统接线上各控制对象的运行状态并动态更新。数据采集、处理有关信息，如开关量测量、外部输入讯号等数据，传至监控系统作实时处理，更新数据库显示画面，为系统实现其他功能提供必要的运行信息。

(2) 运行监视：系统的运行状况可通过文字、表格、图像、声音或光等方式为值班人员及时提供变电站安全所必须的全部信息。

(3) 报警：按系统实际需要，用户可以指定在某些事件发生时或保护动作时自动发出报警，模拟量之越限值可在线修改。每个报警均有时间、报警信息及确认状态显示。

(4) 事件：系统中所有动作事件，如继电保护动作，断路器、隔离开关、接地刀闸的操作等。每个事件均有时间及有关信息文字说明，并可以自动打印记录。

(5) 调整继电器整定值：可通过系统主机或集中控制柜修改各继电器的保护功能和整定值。

(6) 操作闭锁：系统对所有操作对象均可设定闭锁功能，以防止人员误操作。

(7) 模拟量采集及报表产生：采集的数据储存在系统硬盘作为编辑报表的基础。按变电站实际输入的信号，可制作出不同的报表：有功电量日、月、年报表；馈线电流日、月、年报表。

(8) 趋势图：提供操作人员快速直观的数据统计，可分为图形和表格两种。

3 存在的问题及解决问题的思考

3.1 抗干扰的问题

(1) 系统波动时，如系统运行方式变化、负荷变化、雷击、各种故障情况下，误发遥信的问题。

(2) 系统故障点较多时，信息传输量较大，造成通道阻塞，有重复信息、无用信息、误发信息上传，而有用信息上传滞后或不能上传。

3.2 遥控方面的问题

由于部分自动化子站的软件问题，在系统故障下子站系统程序紊乱，造成了

遥控命令的误发。

3.3 通信方面的问题

(1) 通信电源故障造成整个通信中断的情况时有发生，其对生产线运行的影响极大。

(2) 通信通道中断问题。尽管通信通道故障率低，但通道故障往往发生在系统故障多发时，一旦中断，给系统的事故判断和处理带来难以想象的困难。

3.4 解决问题的几点建议

(1) 建立可靠的二次接地铜排网。在站内构建一个一点接地的可靠的铜排网。所有的二次系统通过铜排网接地；现在我们的控制室设备都做到了，但下放到间隔设备上的间隔控制器和间隔继电保护装置还没有引起足够重视。

(2) 加强站内通信网络的抗干扰和防雷措施。

(3) 各专业均衡协调，对遥信量规范管理。

(4) 各专业均衡协调，精简遥信点。避免意思相近或重复的信息量，将一些专业的信息量在监控中归总，专业信息量通过单独系统上传，如建立继电保护信息管理系统。

(5) 对于上传的信号甄别分级，按照实际情况分为三级：

a、出现信号后必须马上到现场处理的，即事故告警信号设置为最高优先级。

b、出现信号允许经过一段时间到现场处理的，即预告告警信号为次优先级。

c、出现信号可在远方复归无需赶到现场的，即日常预告信号为普通的预告信号。

(6) 建立通信电源监控系统 and 加强通信电源维护，对告警、性能、系统运行状态，进行初步的运行分析，对设备运行质量进行简单的分析定位，消除各种设备隐患，保障设备的稳定运行。

4 结语

变电站自动化是一个多专业合作的系统工程，需要我们统一规划、多专业协调合作、规范通信规约和系统管理，通过各专业的共同努力来发现和解决存在的问题。

水泥厂给水管材的比较和选用

孙传红

(合肥水泥研究设计院, 安徽 合肥 230051)

1 引言

水泥厂给水管道主要有生产用给水管、生活用给水管和消防用给水管等,不同用途的给水管对水管材料的要求也是不一样的。在水泥厂的建设投资中,给水管所占的建设总投资比重并不高,但在给水工程实际应用过程中,给水管材选择不当造成的问题层出不穷,严重时甚至会造成系统无法正常运行,需要重新返工,造成各种不必要的浪费。

本人结合水泥厂的工程设计经验,简单介绍各种管材特性的比较、水泥厂不同使用场所的具体要求和选用原则建议。目前水泥厂常用的给水管材大致可分为金属管材、塑料管材和钢塑复合管材。

2 水泥厂常用给水管材的比较和选用

2.1 金属管材

(1) 焊接钢管

焊接钢管是金属管材中应用比较普遍的一种,一直由于其性价比较高,长期以来在水泥厂的设计中被广泛采用。但是其防腐性能差,易产生锈蚀,耐压强度低,使用寿命短等缺点,近年来有相当一部分省市相继颁发了在住宅中限制、淘汰焊接钢的使用、推广使用塑料给水管或其它新型管材。目前水泥厂设计、管理越来越精细,给水管选型也在逐步推广塑料管和复合管。

(2) 无缝钢管

无缝钢管有较好的承压能力,韧性好,故输送流体用的无缝钢管常用于给水系统工作压力较高部位的管道。水泥厂的增湿塔喷雾由于水压高,所以应采用无缝钢管。

(3) 球墨铸铁管

球墨铸铁管具有使用寿命长, 耐压、耐热、耐高温的优点。水泥厂给水管中, 球墨铸铁给水管主要用于自动喷水灭火系统报警阀前的埋地管道, 消火栓系统的埋地管道。水泥厂消防工程常用管材 DN40~DN250。

2.2 塑料管材

(1) 塑料管的特性。塑料管材管质轻, 安装方便, 不生锈, 耐腐蚀、不结垢、内壁光滑、水力条件好, 管道二次污染小, 制造能耗低, 施工综合费用低等一系列优点, 近年来得到越来越广泛地应用, 特别是部分省市相继颁发了在住宅中限制、淘汰镀锌管的使用、推广使用塑料给水管后, 高性能塑料管的应用正逐步取代金属管材。

(2) 塑料管的选用。在众多的塑料管及厂家中, 水泥厂给水设计如何选型? 首先技术规程或技术规范是工程设计人员的重要设计依据, 还有关于这些新型塑料管材的技术规范或规程以及目前已有的相应行业规程或地方标准。其次, 生产厂家提供的产品技术手册也是设计人员很好的参考资料。最后, 设计者可根据厂家提供的相应质量检测部门的产品检验报告和涉及饮用水卫生安全的产品卫生许可证等相关检验报告进行选用。另外, 给水管温度是给水塑料管材选用的重要参数, 塑料管材线性膨胀系数大, 这是塑料管与金属管的一个最重要的差异, 水泥厂循环水不属于冷水, 设备出水温度选型时尤其应该注意, 在符合温差情况下方可选用。

2.3 钢塑复合管

(1) 钢塑复合管的特性。钢塑复合管是指一种新兴的复合管管材。所谓钢塑复合管材的钢是一种铁质材料, 塑是指塑料, 两者复合后可以发挥材料各自的优点。但钢塑复合管的缺点是: 由于金属和塑料的膨胀系数不同, 如若两者粘结不牢固, 在环境温度和介质温度变化剧烈时, 都会导致质量下降。因此其制作工艺较复杂, 因此生产成本较高。

(2) 钢塑管的选用。近些年由于生产工艺有所发展复合管的价格呈下降趋势,

钢塑复合管成为目前最具前景的给水管材。

目前水泥厂给水管道已开始选用复合管。选用的原则同塑料给水管一样，首先针对用途是用于生活给水还是工业给水或者生活、消防共用。第二严格遵循这些新型塑料管材的技术规范、规程及行业标准；第三认真研读厂家产品说明书，并根据根据厂家提供的相应质量检测部门的产品检验报告和涉及饮用水卫生安全的产品卫生许可证等相关检验报告及产品使用说明，进行选用。

3 给水管选型的注意事项

通过以上对市场常见管材的比较分析，在水泥厂设计中给水管的选用应考虑以下几个方面：

(1) 管材的用途。根据不同的用途选用不同的管材，是用在生活水还是生产给水等等。生活给水管的管材选型，必须首先符合生活饮用水管材标准。生活并消防管网，则不仅要符合生活饮用水管材标准还要考虑消防对管材的耐热、耐压和抗腐蚀等要求。

(2) 安全可靠。由于给水管是有压管，一旦漏水爆裂将会造成生产事故和财产损失。选用的管材应能耐受振动冲击、水锤和热胀冷缩反应等，并应保证在规定的使用周期内不会漏水、爆裂。

(3) 性价比要求。在满足设计要求和安全供水的前提下，节约投资成本。工程设计应在设计方面做详细比较，花最少的钱选用最合适管材，提高的管材选用的性价比。在对国外水泥厂建设项目的的设计时，管道设计在满足压力标准等前提下，还应考虑当地的气候、自然灾害等特点，严格准守合同要求和质保期，提高给水管材的性价比。根据这一原则，在东南亚某水泥厂给水输水管线设计中，由于当地洪水、地震频繁，而球墨铸铁管具有铁的硬度和钢的弹性，耐腐蚀、弹性好、不易渗漏，且抗荷载强，综合性价比高，因此，在经过详细比较后，我们建议在给水输水管线上选用了球墨铸铁管。

冬季袋式除尘器稳定运行的措施探讨

王林涛

(合肥水泥研究设计院, 安徽 合肥 230051)

1 前言

袋式除尘是一种高效除尘器, 结构简单, 操作方便, 工作性能稳定, 便于回收干料, 可以捕集不同性质的粉尘, 对粒径为 $1\mu\text{m}$ 的细微尘粒净化效率可达到 99%, 压力损失 $1.0\sim 1.5\text{kPa}$, 在国内外应用广泛。但是袋式除尘在运行使用过程中受环境温度影响较大, 尤其在北方的冬季, 会出现结露、电磁阀粘连等情况。针对这些问题, 我们以新疆万水源矿业公司项目为例, 对其袋式除尘器采取相应的改进措施, 使系统稳定运行并达到了预期的效果, 较好地解决了该公司袋式除尘器在冬季难以稳定运行的难题。

2 项目情况介绍

(1) 新疆万水源矿业公司除尘设备情况

电炉烟气除尘用袋式除尘器 1 台, 过滤面积: 14000m^2 /台, 过滤风速: $1.18\text{m}/\text{min}$, 除尘器阻力: 1500Pa ; 风量: $950000\text{m}^3/\text{h}$ 台; 全压: 6000Pa ; 装机容量: 4400 条滤袋。

(2) 北方冬季气候特点

冬季采暖室外计算温度 -22.0°C , 夏季通风室外计算温度 29.0°C ; 冬季空调室外计算温度 -27.0°C , 夏季空调室外计算温度 34.1°C ; 日平均温度 $\leq 5^\circ\text{C}$ 的天数为 157 天;

3 袋式除尘器冬季易出现的问题

(1) 压缩空气中含水量大, 易造成空压机结露和冻结。维护人员每天都需要处理压缩空气管路被冻的问题。

(2) 伴随寒冷气候露点以下的气温, 易造成脉冲阀电磁线圈结露粘连, 脉冲

阀不工作。

(3) 由于烟气温度高并还有一定量的水分，其化学反应、原料以及外部空气带入的水分不可忽视。当高温含湿烟气进入除尘器后，遇到脉冲喷吹气源的冷空气或由于环境温度下降等原因，滤袋周围即可形成相应的温差，即当热空气遇到冷空气混合低于其露点温度时就会引起结露。在水分析出后，露点下降，直至滤袋表面温度高于下降后的新露点温度为止。显然结露的严重与否其条件取决于含湿烟气的温度、湿度及滤袋表面的温度高低。结露使布袋受潮冻结，造成布袋压差大，系统收尘效果差。

4 解决方案

(1) 针对压缩空气含水量大问题，可引入氮气作为脉冲气源。氮气比压缩空气具有优势，二者的物理特点如下：

a、压缩空气中含杂质多，空压机的吸气过滤器无力消除。大气中相对湿度一般高达 65% 以上，经压缩冷凝后，即成为湿饱和空气，并夹带大量的液态水滴，它们是设备、管道和阀门锈蚀的根本原因，冬天结冰还会阻塞气动系统中的小孔通道。即使是分离干净的纯饱和空气，随着温度的降低，仍会有冷凝水析出，大约每降低 10℃，其饱和含水量将下降 50%，即有一半的水蒸气转化为液态水滴。

b、氮气稳定，不溶于水，杂质少，纯度高。

(2) 针对电磁阀易结露粘连的问题，除尘器本体提升气缸被冻，气缸全部关闭；或者气压不足，不能正常脉冲，导致现场除尘效果差。我们采用保温材料及废旧布袋将脉冲阀层层包裹，避免了水汽进入电磁阀，同时也起到了保温的效果。

(3) 针对含湿烟气温度比较难控制的问题，若能使脉冲反吹气源喷出的温度超过湿烟气的露点，那么这一问题就迎刃而解了。因而脉冲气源的温度和滤袋表面的温差控制则成了解决问题的关键，并且易于实现。

我们在该除尘器的喷吹系统设置了加热装置，即在除尘器喷吹气包外装设蒸汽盘管并包裹保温层，同时增加含温度监测装置，这样就可以有效地控制脉冲气源的温度。实际应用中进入除尘器的电炉烟气平均温度在冬季为 110~130℃（夏

季 130~140℃) 的条件下, 设定加热气包温度为冬季 40℃ (夏季 50℃), 使喷吹后的热脉冲气温超过环境露点温度, 尽可能缩小温差, 由于烟气温度的随工况变化, 故预控制温度在一定的范围内必须进行动态或离散式的自动控制。这样, 即可有效地解决气源温差影响的问题。在实际使用中, 还必须根据现场情况对控制温度进行必要的修正, 最终取得较佳的工作温度。值得强调的是, 尽管系统存在分水后的压力阻损或喷吹后压力下降造成的结露倾向, 但由于气源被加热, 充分抵消了它们的影响, 采用对脉冲气源加热的技术措施, 对稳定除尘系统的运行起到了关键的作用。

5 结语

经过上述处理, 现场设备故障率明显得到改善。现场除尘设备运行稳定、技术措施有效、系统控制良好, 达到了预期的效果。工厂应重视除尘系统的运行维护, 做好除尘系统的运行维护和保养工作, 既能降低系统阻力, 节能降耗, 又能提高除尘效率, 减少工业生产对环境的污染, 最终达到安全、环保、节能的效果。

参考文献:

- [1] 《脉冲袋式除尘器结露问题的探讨》顾亚东等 中国硅酸盐学会环保学术年会论集, 2009
- [2] 除尘设备设计 . 金国森 上海科学技术出版社, 1985.





合肥水泥研究设计院

中建材（合肥）粉体科技装备有限公司

——由合肥水泥研究设计院粉体工程公司和肥西节能设备厂改制组建而成



提供先进可靠的粉磨技术装备及系统解决方案

——服务于水泥生产，冶金矿山，固体废渣处理，化工等领域

- 1、辊压机与球磨机装机功率比达到 1.5 ~ 2.5；
- 2、充分发挥辊压机毫米级粗磨优势，球磨机微米级细磨优势，实现优势互补。

地址：合肥市望江东路60号 邮编：230051 电话/传真：0551-63439608