

超低温环境下蓄热式 RTO 在沥青行业的安全设计

李俊波，李沣林，蒋武，寇耀天，王鹏

四川源之蓝环保科技有限公司，四川绵阳 621000

摘要：介绍了蓄热式热量氧化 RTO 系统在我国北方、西北地区超低温环境下设计的关键还是在于管道、室体、阀门的选材选型以及保温的标准尤为重要，设计时环境温度的取值一般参照该地区气象资料，取历年来月平均最低气温的最低值。RTO 系统在设计之前，要选定合适的最低环境温度和相适配的材料来满足实际运行的工况要求。文章重点介绍了 RTO 系统在超低温环境下，又特别在沥青烟气治理行业的安全隐患与设计要求，以减少系统的故障率，降低其热损失。

关键词：超低温环境；蓄热式；RTO；保温；沥青；安全隐患；运行

Safety Design Of Regenerative Rto In Asphalt Industry Under Ultra-Low Temperature Environment

Li Junbo,Li Fenglin, Jiang Wu, Kou Yaotian, Wang Peng

Sichuan Yuanzhilan Environmental Protection Technology Co., LTD., Mianyang, Sichuan 621000

Abstract : It is introduced that the key to the design of regenerative heat oxidation RTO system in the ultra-low temperature environment in the north and northwest of our country is the selection and selection of pipes, chambers, valves and insulation standards are particularly important. The value of environmental temperature is generally referred to the meteorological data in the region, and the lowest monthly average minimum temperature is taken over the past years. Before the design of RTO system, it is necessary to select the appropriate minimum ambient temperature and suitable materials to meet the actual operating conditions. In order to reduce the failure rate and heat loss of RTO system, the paper mainly introduces the safety risks and design requirements of RTO system in ultra-low temperature environment, especially in asphalt flue gas treatment industry.

Key words : ultra-low temperature environment; regenerative type; RTO; heat preservation; asphalt; security risks; operation

引言

近年来，随着全球对能源转型的重视，国内新能源汽车市场呈现出爆发式增长，新疆也不例外，其锂电池市场也迎来了前所未有的发展机遇，带来大量锂电负极材料行业的发展好势头。但是在锂电池石墨类负极材料生产过程中产生的沥青烟气，如在：电极、阴极（沥青熔化及储运、炭电极制糊成型 / 阴极制糊成型）等工序会产生大量的沥青烟气，这给我们赖以生存的环境正在面临着更严重的挑战。采用蓄热式热力氧化 RTO 对碳素、石墨类行业的沥青烟气进行高效治理也就成了“热宠儿”。由于新疆部分地区最低温度在 -40° C)，最高温度在 +50°C，如果我们按照南方的气候条件来设计，将导致 RTO 故障率增加，增大系统的热损失，造成能耗增高，系统无法正常运行，导致项目的投资失败。本文将重点介绍系统管道、RTO、阀门的选材选型以及系统保温的设计要求。

一、蓄热式热力氧化 RTO 的工艺原理

蓄热式燃烧技术 RTO 是目前国内外 VOCs 治理行业公认的高效节能系统之一，蓄热式热力氧化装置 RTO 主要由壳体、陶瓷纤维保温棉、蓄热体、切换阀、天然气燃烧机、检测报警仪表、电控系统等组成。其原理是通过天然气把炉内温度加热到 800°C 以上，使废气中有机组分在高温下氧化分解成无毒无害的二氧化碳与水后达标排放。有机废气氧化时放热产生的高温气体流经蓄热

体床，经陶瓷蓄热体升温而“蓄热”，此“蓄热”用于预热后续进入的低温有机废气，每个蓄热室依次经历蓄热 – 放热 – 清扫等程序，周而复始，连续工作，从而节省废气升温的燃料消耗。

二、陶瓷纤维模块材料的特性

RTO 常用陶瓷纤维模块来进行耐火隔热，其主要原料是陶瓷纤维棉，使用温度可达 1000°C 以上，具有良好的保温隔热性能，

* 作者简介：李俊波（1972-），男，本科，环境工程高级工程师，主要从事大气污染控制研究与治理工程技术应用。1768389112@qq.com

* 作者简介：李沣林（1994-），男，本科，二级建造师 / 工程师，主要从事大气污染与处理技术设计与工程应用 415850859@qq.com

用于炉体、内部需要保温部分的轻质耐火隔热材料，材料具有下列特性：

1) 陶瓷纤维毯是由陶瓷纤维经独特的双面针刺工艺制成的高抗拉强度的毯，纤维毯不含有有机结合剂。陶瓷纤维毯具有良好的化学稳定性，并能抵抗多数侵蚀性化学物质的侵蚀（除磷酸、氢氟酸和强碱外），该产品即使被油、水或蒸汽浸湿，其耐温及隔热等物理性能仍不会改变。（见图一）



> (图一)



> (图二)

而纤维模块是采用陶瓷纤维毯预先折叠或切块层叠，经专业设备加工而成的系列模块产品。模块具有尺寸精准、表面平整等优点，专为各种各样的热加工设备炉衬应用而设计，具有安装快捷、隔热性能优异。（见图二）

模块技术参数（见下表1）：

主要性能		1260 模块	1425 模块	1500 模块	1600 模块
分类温度	℃	1260	1425	1500	1600
常温性能（23°C/相对湿度 50%）					
颜色		白	白	淡绿	白
纤维比重	g/cm³	2.7	2.7	2.7	3.2
纤维熔点	℃	1760	1760	1760	-
平均纤维直径	μm	2.8	2.8	2.8	3.1
渣球含量	≥0.212mm (%)	7	7	7	微量
高温性能					
永久线收缩 (保温 24 小时) 19kg/m³	% (测试温度)	≤1.3 (1100°C)	≤1.5 (1200°C)	≤1.7 (1300°C)	≤1.1 (1500°C)
导热系数		W/(m·K) ASTM-C-201			
容重 160kg/m³		0.09	0.09	0.09	-
400°C		0.14	0.14	0.14	0.14
600°C		0.20	0.20	0.20	0.20
800°C		0.28	0.28	0.28	0.28
1000°C		-	-	-	0.36
容重 192kg/m³		0.08	0.08	0.08	-
400°C		0.13	0.13	0.13	0.13
600°C		0.18	0.18	0.18	0.18
800°C		0.26	0.26	0.26	0.26
1000°C		-	-	-	0.34
化学成分					
Al₂O₃	%	44-48	34-36	43	72
SiO₂	%	52-56	48-50	54	28
Cr₂O₃	%	-	15-17	-	-
ZrO₂	%	-	-	3	-

(表1)

2) 一般纤维模块的耐温等级（常温23°C、相对湿度50%时）1260°C、1425°C、1500°C、1600°C四个等级，要确保RTO的耐温设计要求及保温性能，选型时需要从以下参数来进行考虑：

(一) 容重：各种保温材料都有一个容重，在此区间具有小的热导率和较好保温效果。在需要保温的系统工程中为节约能源和减少保温结构荷重，应尽量采用容重小的保温材料。RTO系统不同位置的陶瓷纤维模块一般在128—220kg/m³，是轻质耐火砖的1/4。

(二) 热导率：保温材料传递热量能力大小的参数，是保温材料的主要热物理特性，反映了材料的导热能力。陶瓷纤维棉

800°C时的导热系数仅为0.18w/(M.K)。

(三) 保温层厚度：为减少保温结构散热损失，保温材料层厚度应按‘经济厚度’的方法计算。陶瓷纤维棉可以根据使用温度环境灵活定制尺寸。

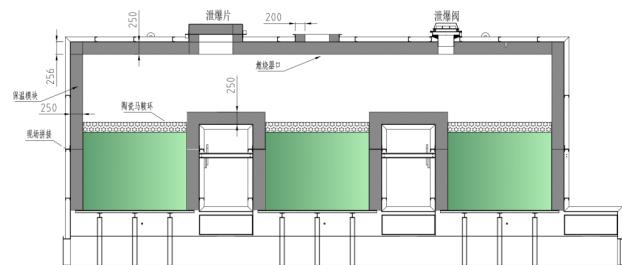
(四) 抗压强度：陶瓷纤维棉属于轻软质材料，一般受到挤压荷载时不易损坏。

(五) 使用温度：指保温材料长期稳定地工作所能承受的限度温度。陶瓷纤维棉的长期使用温度介于850—1600度之间，是保温材料中除莫来石纤维外不怕高温的产品。

(六) 线膨胀系数：如果保温材料的线膨胀系数较大，受热后内部易变形产生较大的应力，破坏保温结构。与常规保温材料不同的是，陶瓷纤维棉受热不膨胀，使用时无需预留膨胀缝，安装时挤压密实即可。

(七) 化学特性：不同的使用环境要求保温材料不同的选型，须具备良好的化学稳定性、不易腐蚀、不易氧化。

三、蓄热式热力氧化 RTO 的内部保温结构

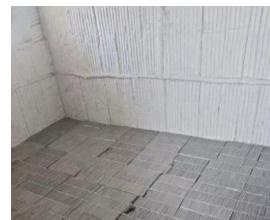


> (图三)

陶瓷纤维模块锚固件采用加强型 M 型锚固件，它具有较大的强度，离冷面更近（45mm），锚固件在高温下承受温度较低，保证其高温强度。固定杆采用优质耐热钢与同质冲压蝶片焊为一体，两根圆形固定杆预埋于模块系统，增大了承重面积，确保锚固件系统牢固（见图四）。常规 RTO 其上室体保温一般 ≥ 300mm，下室体保温 ≥ 250mm，其保温效果（见图五）。



> (图四)



> (图五)

四、RTO 在超低温环境下处理沥青烟气的设计

(一) RTO 在超低温寒冷环境下易被冻结的部分

(1) 收集管道至阻火器、风机、废气进入 RTO 的进出口通道、提升阀以及后处理设备之间的垂直管道区域

(2) 应急旁通阀作为非连续工作区域工段，正常工作时关闭，阀门两端为短路，管道和阀门均易胀坏；

(3) 在大量油气或含焦油烟气的工况，前端收集管道、RTO 进气通道等低温区域易产生积液的部位，未设置排液口或未定期排液时，冬季时发生冻结，一旦天气回暖，积液中挥发性有机物大量挥发，较高的浓度易造成 RTO 安全隐患。

(4) 整个系统内的仪表（温度、压力、流量计、浓度检测仪等）精密部位易被冻结等。

(二) RTO 在超低温寒冷环境下，对沥青烟气工况的安全设计要求

RTO 系统在超低温环境工作时，要先分析可能出现的低温区域，再做出相应的选值、选材、选型的设计。一般情况下，沥青烟开始凝结的温度通常在小于 100℃。因此：

(1) 收集管道、阀门、阻火器、风机、RTO 的进出口通道以及后处理设备之间的垂直管道区域，宜考虑管道电伴热或利用 RTO 余热反输送端，采用双层管（即大小管），且结构为两层通道的钢管，里层为介质输送管，中层能够输送热风温度，外层为加厚保温层套管材料。

(2) RTO 系统正常运行时，旁通阀处于关闭状态，阀门两端为短路，极易发生冻结，胀坏管路。紧急开断阀时，易造成泄漏，影响系统的安全运行。此段采用电伴热极不经济，在冬季时，给旁通阀门一点较小的开度，或在旁通阀门两侧再设计一个 DN15/DN20 的阀门保证有稳定热源介质流通；

(3) 在低超温工况下，RTO 炉体及相应的焊材应选择有足够的起裂韧性材料，以避免起裂。在 VOCs 治理行业，我们

常用的金属管道为碳钢和奥氏体不锈钢，其化学成分及制造工艺的不同，不同牌号钢材对应的最低使用温度也有所不同。GB/T20801.1 规定了材料的最低使用温度要求，国标碳钢的最低使用温度为 -20℃，美标为 -29℃；国标低温碳钢的最低使用温度是 -40℃，美标为 -45℃，因此，选材时要特别注意。

(4) 超低温环境下 RTO 炉体内保温，其保温厚度上室体一般 $\geq 350\text{mm}$ ，下室体 $\geq 300\text{mm}$ ，进排气通道保温 $\geq 200\text{mm}$ ，以减少其热损失，避免能耗增高，这与我国东南地区使用环境下 RTO 设计不同的地方。为了减少设备故障率，在废气入口通道内增加辅助加热装置，以确保进气温度在 100° C 左右，防止沥青烟气或油气类物质在通道内积存或凝结，甚至沥青粘附物在切换阀板上粘结，影响阀门的正常工作，给系统的整体运行、使用寿命带来极大影响，造成极大的安全隐患。

五、结论

总之，蓄热式热力氧化 RTO 在 VOCs 治理领域，虽然具有节能、处理效率高、应用领域的广泛性等方面的优点，但在北方超低温环境下，系统设计的关键还是在于管道、室体、阀门的选材，炉体的焊接以及保温的设计标准。系统除了要考虑介质是否具有腐蚀性，凝固性外，还应计算最低使用温度、环境温度，选择低温碳钢还是不锈钢均需要综合考量，以减少系统的故障率，降低其热损失，避免高能耗，确保系统正常运行。

参考文献：

- [1] 李鸿发 主编 设备及管道的保冷与保温，化学工业出版社，2002 年 7 月。
- [2] 中国建筑标准设计研究院，16S401 管道和设备保冷防结露及电伴热，2017 年 9 月。
- [3] 中国建筑标准设计研究所，上海建筑设计研究院有限公司，08K507-1 08R418-1：管道与设备绝热 - 保温。
- [4] 绝热材料稳态热阻及有关特性的测定 防护热板法 标准 (GB/T 10294-2008)。
- [5] 工业设备及管道绝热工程设计规范 (GB50264-2013)。
- [6] 上海伊索热能技术有限公司 陶瓷纤维毯，陶瓷纤维模块。