危险废物焚烧工艺急冷系统的研究应用

赵凤
（北京京城环保股份有限公司，北京 100027）

摘要：危险废物焚烧处置过程中会生成包含二噁英在内的有毒有害物质，必须对烟气进行严格的净化处理。目前，危险废物焚烧采用温度骤降方式（雾化液滴与高温烟气混合实现对气体污染物组分的急冷降温），以减少二噁英异相合成的时间。急冷控制是焚烧尾气净化的重要技术，在以往项目中经常出现急冷雾化不良、水 / 气压力调节反应迟缓、急冷过喷、急冷欠喷等问题，对项目的顺利验收与运营造成影响。文章通过分析危废焚烧处理的工艺特点、结合项目经验，对急冷系统的设计与控制进行了研究与完善。该设计研究结果已在后续项目中予以应用。

关键词：危险废物焚烧；二噁英控制；急冷系统调控；雾化效果

中图分类号：X327　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1006-5377（2022）07-0000-05

回转窑焚烧处理危险废物在我国很多地区已经成功应用，其在处理过程中需要严格执行相关尾气排放标准，确保危险废物的安全、有效处理处置[1, 2]。

由于危险废物中往往含有氯元素，在一燃室（回转窑）和二燃室的高温焚烧处理过程中会合成二噁英前驱物，进而反应生成二噁英。二噁英是危险废物焚烧处理过程中的重要污染物之一，也是危险废物焚烧项目运行中需重点检测、控制的指标[3]。目前二噁英检测的国标为 0.5TEQ/Nm^3，执行欧标的危险废物焚烧项目的二噁英限值为 0.1TEQ/Nm^3。由于大多数危险废物焚烧处理项目物料成分复杂且不稳定，难以从反应物源头对二噁英进行把控，一般采用急冷工艺对二噁英的生成过程进行控制[4]，即采用急速降温的方法使燃烧烟气由 550℃骤降至 200℃，从而避开二噁英低温异相合成的温度区间（250℃—450℃）。这一过程通过急冷系统及其配套设施实现，由急冷塔、急冷泵站、急冷水箱等组成。其中，急冷泵站的控制是系统核心，也是技术难点。

作为危险废物焚烧工艺的重要组成部分，急冷塔及其配套设备设置于焚烧和余热系统后，是焚烧尾气处理的第一个系统。急冷系统在危险废物焚烧工艺中发挥着重要作用，若控制不力将造成二噁英超标、布袋除尘器高温烧毁（未能有效降温）、糊袋（雾化不好导致烟气夹带大量液滴）等问题；急冷过喷将造成湿底，酸性气体溶于水中会严重腐蚀设备。

针对上述问题，本文从工艺角度进行了研究实验，结合以往项目设计经验，寻求设计出合理有效的泵站配置参数。

1 急冷工艺的原理及系统组成

物料经焚烧系统（回转窑、二燃烧室）和余热回收系统（余热锅炉）处理后会产生大量高温烟气，进入净化系统的烟气在急冷塔内部实现瞬间（1s）气、水传质传热。烟气释放热量实现降温，水滴吸收热量发生汽化，降温后增加了水汽含量的烟气流向后续处理设施[5, 6]。急冷塔为立式布置，内衬为防腐隔热层。

通常设计急冷塔前后烟气温度为 550℃和 200℃，根据分析物料参数得到烟气量和焓值，计算烟气降温所需要的喷枪喷水量，以此作为设计急冷工艺的依据。一定的水量配比合适的雾化压力，通过双流体喷枪喷嘴进入急冷塔内部，实现对烟气的急冷降温。急冷塔内部的烟气变化情况见图 1。

收稿日期：2020–10–12；修回日期：
作者简介：赵凤（1986—），女，辽宁本溪人，硕士，工程师，主要从事固体废物处理工艺设计工作。

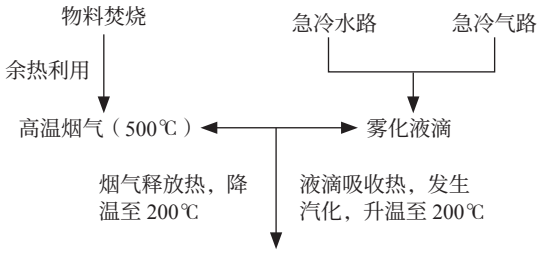


图 1 急冷塔内部的烟气变化情况图

整个急冷系统设计实现的关键在于气、水传质传热，而良好的雾化能够增加气水有效接触面积，缩短整个过程的时间。

正常工作时，同时供给喷枪一定压力的压缩空气和水，在喷嘴内部，压缩空气与水经过若干次的打击，产生非常小的颗粒，雾化后的颗粒与高温烟气混合后，在短时间会内迅速蒸发，带走热量。雾化颗粒非常细小，以确保蒸发率。

急冷系统主要由以下部分组成：

（1）供水回路：主要由过滤器、电动调节阀、压力变送器等通过管道连接而成。水路系统的功能是根据控制器的要求向喷嘴提供一定压力的水，并且根据温度的变化实现对水量的自动调节。

（2）供气回路：主要由过滤器、压力变送器、电动调节阀等通过管道连接而成。供气回路的功能是向喷嘴提供一定压力的压缩空气，用于冷却水的雾化。根据喷嘴的特点，调整好压力后，消耗水量会在一定范围内变化，不用调整调节阀出口压力。

（3）雾化系统：由雾化泵、急冷喷嘴、水路系统、气路系统、温度检测系统等组成。

（4）急冷泵：采用螺杆泵，配备两台，互为备用，向供水回路输送急冷水。

（5）急冷喷嘴：喷枪的关键部件，是急冷水路和气路合流、发生雾化的部位。喷嘴通常采用高温耐腐蚀的哈氏合金材料。

2 急冷系统调控及存在的问题

系统根据烟气的变化调节喷枪的喷雾量，保证冷却塔出口温度维持在适当的范围内，急冷控制的喷水量不能“过喷”也不能“欠喷”。在项目中，为保证系统安全可靠运行，要分别进行急冷冷态和热态参数的手动调试，调试稳定后，急冷投入自动运行。

当系统在自动模式下工作时，远传温度仪表会检测急冷塔出口烟气温度，并与雾化喷枪的水路调节阀联锁，通过控制比例来调整喷水量，并监测水路、气路的雾化压力配比关系，以保证系统雾化效果。远程可监测的参数有水路压力、气路压力、急冷水流量、急冷水箱液位、急冷塔进口烟温、急冷塔出口烟温。远程可调控的参数有喷枪水路调节阀开度、喷枪气路调节阀开度、急冷水箱补水控制、喷枪保护风机控制、急冷泵控制、急联连锁控制、急冷出灰控制。

目前市场上的成套急冷系统产品不能充分考虑危险废物焚烧处置过程的特点，形成的产品控制效果很不理想，甚至会因为急冷系统的问题而影响整个焚烧系统的连续运行能力。

为了提高急冷系统的工作稳定性，需在急冷工艺和控制上做出以下尝试：

（1）危险废物焚烧处置规模小，烟气量也小，燃烧状况和负压控制将对烟气的温度和流量造成较大影响，要达到好的控制效果，必须考虑喷枪在较宽的流量范围内的雾化效果。

（2）急冷工艺所用时间短，为有效控制二噁英的再生时间，烟气从 550℃降至 200℃以下的停留时间应在 1s 以内。

（3）危险废物具有有毒有害性，非正常的设备停机将造成恶劣影响，因此对系统安全性有很高要求。

3 急冷改进方案的研究与应用

研究结合危险废物焚烧处理的特点和以往项目经验，构建实验检验平台，考虑喷枪布局、喷淋量、雾化粒径、水气比等因素对急冷效果的影响，通过测定的合理水气比例，在控制系统中做出调整，通过开闭不同大小的喷枪组合，在更宽的流量范围内保持雾化效果。

实验研究完善了传统急冷系统工艺的控制方法，具体为：（1）设置大、小两支喷枪，根据工艺处理负荷切换使用。（2）喷枪启用，先开气路后开水路，喷枪停用，先停水路后停气路。（3）喷枪有合理的雾化流量范围，而且喷淋流量、水路压力、气路压力三个

参数的变化具有关联性，三者的平衡是急冷良好雾化的前提。实验工艺流程见图 2。

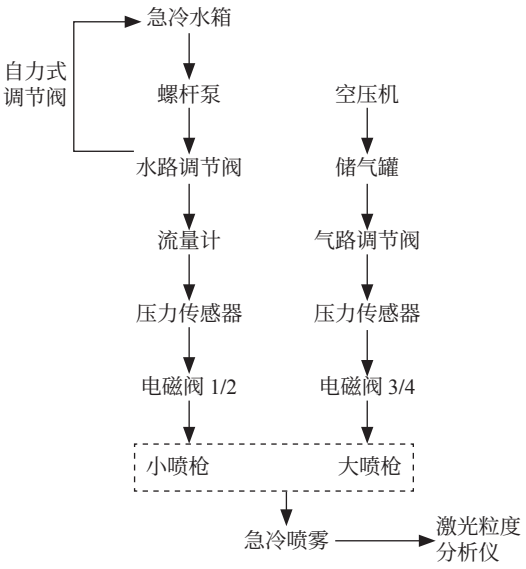


图 2 急冷系统研究的工艺流程图

实验研究分析结论如下：

（1）双流体喷枪的流体启闭顺序有要求

水路的开启不应先于气路的开启，只开水路，大量水流由喷嘴分四股流出，迅速湿底。因此，气路的关闭也应在水路关闭后进行。

（2）喷枪有一定的工作流量范围及设置小喷枪的必要性

小喷枪、大喷枪的流量下降，分别为 150kg/h、350kg/h，因此需在程序中增设流量下限值。大喷枪超过下限，必须切换小喷枪；小喷枪超过下限，必须全部关闭阀门。此外，小流量喷枪必须设置上限，流量过高时，水路压力上升（高于 6bar），雾化效果很差（见表 1）。

每只喷枪都有一定的工作流量范围，在此范围内，喷枪的雾化效果良好且相对稳定。

设置单只大喷枪能够满足工艺满负荷运行。但在启炉和小流量情况下，难以（或无法）获得有效的雾化喷淋效果（没有喷淋水产生或者雾化粒径过大），而合适流量范围内的小喷枪可以满足启炉和小流量需求。

（3）主水路流量、压力与气路压力的关系

主水路流量、压力与气路压力三者相互关联，任何一个参数的调整都会影响到其他两个参数的稳定。通常情况下，喷枪主水路压力增大，流量上升，气路压力会相应变小；气路压力增大，主水路压力会减小，流量下降。良好的雾化效果是三者均衡协调的结果。

但是，流量调节超过一定值（水压值超过 0.35MPa），气压对水压的影响不明显，即水路流量超过此值，只要保持气压稳定在 0.4MPa 以上，雾化效果就相近（见表 2）。当流量低于此值时，就需要调节气压以稳定喷雾，同时气压不宜过低，否则无法实现雾化（见图 3）。

（4）主水路压力、气路压力与流量对雾化喷淋效果的影响

主水路流量、压力与气路压力互相制约，三者协调是产生良好雾化效果的前提。在一定工作范围内，增大气路压力有助于提升雾化效果，增大流量不利于雾化喷淋。

表 1 小喷枪在合理流量工作范围内的数据

水流量 /（m^3/h）	水路开度	水压 /MPa	气路开度 /%	气压 /MPa	粒径 /μm
0.35	8%	0.33	15	0.28	119.38
0.31	9%	0.45	20	0.42	88.8
0.31	10%	0.47	25	0.45	86.10
0.33	10%	0.47	30	0.44	92.65
0.31	10%	0.48	35	0.46	83.76
0.33	10%	0.47	40	0.44	93.53
0.33	20%	0.55	40	0.53	87.35

注：通常认为粒径在 100μm 左右时，雾化效果良好。

表 2 大流量喷枪数据

水流量 /（m^3/h）	水路开度	水压 /MPa	气路开度 /%	气压 /MPa	粒径 /μm
0.46	8%	0.19	35	0.29	89.11
0.48	8%	0.16	25	0.20	105.86
0.76	10%	0.19	25	0.20	123.19
0.8	12%	0.28	40	0.36	102.59
1.0	15%	0.32	35	0.37	101.84
1.05	15%	0.34	40	0.39	107.00
1.45	25%	0.40	40	0.40	121.23
1.88	65%	0.44	40	0.39	137.36
1.84	65%	0.52	45	0.50	128.79



图 3 喷枪雾化喷淋效果图

（左图：流量过低；中、右图：气压不足）

在主水路压力一定的情况下，气路压力越高，雾化效果越好。根据分析，双流体喷枪气路、水路均需设置一定的启喷量，若想获得理想的雾化效果，需要设定水路和气路的压力下限。在获得较小雾化粒径的情况下，主水路压力会略高于气路压力（空压机启停造成的气压波动除外）。

在气路压力和水路压力达到合理平衡时，增大水路流量会对喷枪雾化效果造成不利影响。

4 急冷技术

某市危险废物集中处置中心项目主要处理某市域范围内产生的危险废物，兼顾处理周边城市的部分危险废物，焚烧系统规划处理规模为 50t/d。

在低负荷工况下（如起炉、停炉阶段），为了能够让急冷喷枪工作在最高效率区间，在原有急冷喷枪的基础上，增设了低负荷急冷喷枪 1 只。低负荷急冷喷枪设计喷水量为满负荷急冷喷枪的 30%。

低负荷急冷喷枪与急冷喷枪同层布置，工作时只有一只喷枪开启，以防止因雾化区域叠加而造成雾化颗粒增大。

起炉停炉阶段结束后将低负荷急冷喷枪更换为备用配枪。

为了有效保护后续设备，急冷泵站采用在线切换系统。系统具有以下功能：当运行系统给水泵停机时，备用泵自动投入运行；当系统运行、出口温度高于 250℃时，备用喷枪自动投入使用。

5 结语

急冷技术能够有效控制危险废物焚烧过程中产生的二噁英，是回转窑处理危险废弃物工艺的重要技术。本文针对目前急冷系统存在的问题，结合危险废物焚烧特点，在影响急冷控温效果的关键点做出技术改进。

通过对急冷控制的工艺技术条件进行分析，设

置大、小两支喷枪，适应启炉 / 停炉、满负荷 / 低负荷不同工况下的急冷要求。在控制方法上，喷枪启用、停用，水 / 气路开合要遵循一定的启闭顺序；急冷调控需要找出每支喷枪的合理雾化流量范围，根据工况需要进行喷枪间的组合、切换；喷淋流量、水路压力、气路压力三个参数在急冷系统调节过程中相互作用，三者协调平衡方能保证急冷的良好雾化。上述研究结果在某市危险废物焚烧处置项目中已予以应用。

参考文献：

[1] 周苗生，李春雨，蒋旭光，等 . 危险废物焚烧处置烟气达标排放研究 [J]. 中国环保产业，2011（1）：30–33.
[2] 陈旭 . 危险废物焚烧工艺选择与废气处理设施工艺设计 [D]. 长春：吉林大学，2019.
[3] 刘劲松，刘维屏，巩宏平，等 . 城市生活垃圾焚烧炉周边环境空气及土壤中二噁英来源研究 [J]. 环境科学学报，2010（10）：1950–1956.
[4] 周芳磊 . 生活垃圾焚烧发电厂二噁英控制研究实践 [J]. 环境卫生工程，2019（6）：93–96.
[5] 盛锴，刘武林，寻新 . 烟气急冷塔塔内脱硫脱氯过程的数值模拟 [J]. 环境工程学报，2010（9）：2078–2082.
[6] 缪敏敏 . 基于前馈模糊 PID 的急冷塔温度控制系统研究 [D]. 天津：天津大学，2014.

Study and Application of Quenching System in Hazardous Waste Incineration Process

ZHAO Feng
(BMEI Co., Ltd., Beijing 100027, China)

Abstract: Hazardous waste incineration disposal process can generate toxic and harmful substances including dioxins, so the flue gas must be purified and treated strictly. At present, hazardous waste incineration adopts the method of abrupt temperature drop (atomized droplets and high-temperature flue gas are mixed to achieve the quenching of gaseous pollutant components) to reduce the heterogeneous synthesis time of dioxins. Quenching control is an important technology for the purification of incineration tail gas. In previous projects, problems such as poor quenching atomization, slow reaction of water/gas pressure regulation, quenching overspray and quenching under-spray often occur, and thus affect the smooth acceptance and operation of the projects. By analyzing the technical characteristics of hazardous waste incineration treatment and combining with project experience, the paper researched and improved the design and control of quenching system. The design research results have been applied in subsequent projects.

Key words: hazardous waste incineration; dioxin control; quenching system adjustment and control; atomization effect