

附件 3

# 《危险废物焚烧污染控制标准》(征求意见稿) 编制说明

《危险废物焚烧污染控制标准》(修订) 编制组

二〇一四年十月

# 目 次

1 项目背景.....	1
1.1 任务来源.....	1
1.2 工作过程.....	1
2 国内外危险废物焚烧处置技术应用和管理状况.....	2
2.1 国际社会对危险废物处置和管理要求.....	2
2.2 国外危险废物焚烧处置技术应用和管理状况.....	5
2.3 国内危险废物焚烧处置技术应用和管理状况.....	9
2.4 国内外危险废物处置技术应用和管理状况总体评估.....	18
3 标准修订的必要性分析.....	21
3.1 国家及环保主管部门的相关要求.....	21
3.2 国家相关产业政策及行业发展规划中的环保要求.....	23
3.3 行业发展带来的主要环境问题.....	25
3.4 行业清洁生产工艺和污染防治技术的最新进展.....	25
3.5 现行危险废物焚烧污染控制标准存在问题分析.....	26
4 危险废物焚烧处置技术及污染控制技术分析.....	27
4.1 危险废物焚烧处置技术分类.....	27
4.2 我国危险废物/医疗废物焚烧设备应用状况.....	31
4.3 污染控制技术分析.....	34
5 危险废物焚烧处置设施排放污染物环境影响分析.....	37
5.1 焚烧污染物的产生.....	37
5.2 主要生产工艺及产污分析.....	38
5.3 行业污染控制技术分析.....	39
5.4 行业污染物排放数据.....	40
6 标准主要技术内容.....	41
6.1 标准适用范围.....	41
6.2 标准结构框架.....	42
6.3 术语和定义.....	43
6.4 技术要求.....	44
6.5 污染物排放控制要求.....	45
6.6 运行要求.....	49
6.7 监测要求.....	50
6.8 标准的实施.....	50
7 主要国家、地区及国际组织相关标准研究.....	51
7.1 主要国家、地区及国际组织相关标准.....	51
7.2 本标准与主要国家、地区及国际组织同类标准的对比.....	54
8 我国危险废物焚烧污染控制标准修订技术可行性分析.....	58
8.1 危险废物焚烧配伍技术.....	58
8.2 危险废物焚烧运行工况控制技术.....	59

8.3 烟尘污染物的控制技术.....	59
8.4 酸性气体污染物的控制技术.....	61
8.5 二噁英污染物的控制技术.....	61
8.6 重金属及其化合物的控制技术.....	76
9 实施本标准的环境效益及经济技术分析.....	77
9.1 危险废物焚烧污染控制环境效益分析.....	77
9.2 源头减量化的经济分析.....	77
9.3 二噁英达标排放的技术经济分析.....	77

# 《危险废物焚烧污染控制标准》(修订)编制说明

## 1 项目背景

### 1.1 任务来源

为贯彻实施《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》和《危险废物经营许可证管理办法》等法律法规,确保危险废物焚烧处置设施安全稳定运行,原国家环保总局下达了《危险废物焚烧污染控制标准》(GB18484-2001)(修订)的编制任务,项目统一编号:256。承担单位:沈阳环境科学研究院。

### 1.2 工作过程

#### 1.2.1 编制过程

沈阳环境科学研究院承接《危险废物焚烧污染控制标准》(GB18484-2001)修订工作后成立了标准编制组,围绕标准的修订开展了大量的工作,主要工作情况如下:

(1)对美国、欧洲、加拿大等国家以及国际组织焚烧处置技术和管理要求进行了调研评估,包括危险废物焚烧处置技术应用及管理状况评估;焚烧污染控制领域的相关法律、法规、标准及规范的评估;焚烧污染控制技术评估等。

(2)对国内危险废物焚烧处置设施建设和运行管理状况进行调研与分析,分别针对新建以及在运行设施的污染控制状况以进行系统的调研与分析;对国内在运行的危险废物焚烧处置设施的工况性能以及污染物排放性能及指标状况进行调研和分析。

(3)向部分危险废物焚烧处置监督管理部门、焚烧处理设备提供单位、焚烧设施运行单位及专家征询了《危险废物焚烧污染控制标准》(GB18484-2001)的修订意见。

(4)结合《履行斯德哥尔摩公约国家实施计划》和我国环境管理的相关要求,对《危险废物焚烧污染控制标准》拟修订控制指标进行了分析。

(5)围绕国际公约提出的废物焚烧处置过程BAT/BEP技术和管理要求,结合不同类型的危险废物焚烧处置设施,如回转窑、热解炉等,对二噁英污染控制技术及管理机理进行了分析评估工作,并开展了加严危险废物焚烧污染控制标准技术经济分析工作。

(6)配合有关部门推进了焚烧处置设施的案例研究工作。

(7)编制了《危险废物焚烧污染控制标准》文本及编制说明初稿。

(8)在标准的修订过程中,标准编写组还积极推进和参与了国内典型危险废物焚烧处置设施的性能测试和试烧工作,旨在为探索切实可行的危险废物焚烧处置污染控制标准的排放限值的研究提供基础和依据,以便为更好的贯彻《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》、《危险废物经营许可证管理办法》、《医疗废物管理条例》以及其它相关政策、法规和标准要求提供基础条件。

2010年3月15日环境保护部科技标准司在北京主持召开了本标准修订开题论证会。课题组针对开题论证意见对标准初稿进行修改，完成《危险废物焚烧污染控制标准》(征求意见稿)及编制说明。

### 1.2.2 标准开题论证会情况

2010年3月15日，环境保护部组织召开了《危险废物焚烧污染控制标准》(修订)开题报告会，证委员会听取了标准编制单位所作的开题论证报告和标准初稿内容介绍，经质询和讨论，形成以下论证意见：

(1)标准编制单位提供的开题报告内容完整、材料翔实。

(2)标准编制单位在项目执行过程中开展了大量的调研工作，查阅了国内外相关标准和文献资料，为本标准编制提供了一定的基础。

(3)本标准的定位准确，提出的适用范围合理，编制原则、编制方法和技术路线可行，标准体系方案和结构合理。

论证委员会通过该标准的开题论证，提出如下意见和建议：

(1)对国内外的调查需要进一步细化；

(2)标准修订的重点应是对二噁英等特征污染物的控制；

(3)标准的编制既要考虑国际发展趋势，也要符合我国国情。

## 2 国内外危险废物焚烧处置技术应用和管理状况

危险废物焚烧处置技术应用和发展已有近百年的历史，二十世纪初期一些国家就开始采用焚烧处置技术处置工业固体废物。到二十世纪六十年代，西方国家开始高度重视危险废物焚烧技术的应用和发展，将焚烧技术视为危险废物减量化、无害化的最快捷、最有效的危险废物处置技术。近二十年来危险废物焚烧处置技术在世界范围内得到了广泛的应用。但随着经济、技术的不断发展，人们开始逐步认识到危险废物焚烧处置的同时，如果焚烧处置技术技术应用和管理不当，将在废物处置过程中产生二噁英、飞灰、重金属等二次环境污染物，严重威胁环境安全和人体健康。因此，加强危险废物焚烧处置技术应用管理，推进危险废物焚烧处置设施的安全无害化运行，近年来得到了国际社会的普遍重视，不仅国际社会通过公约等方式来约束危险废物处置和管理行为，各个国家也分别通过管理、政策、技术等多种措施来加强危险废物焚烧处置技术应用和管理。

### 2.1 国际社会对危险废物处置和管理要求

国际上以危险废物管理为主旨的主要两项国际公约分别为1989年签订的《关于控制危险废物越境转移及其处置的巴塞尔公约》(简称“巴塞尔公约”)和2001年签订的《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》(简称“POPs公约”)。这两个公约是在全球范围内规范危险废物管理的核心文件，其中的相关要求和规定是世界各国开展危险废物管理实践的指

南和依据。此外，医疗废物作为危险废物的一类，世界卫生组织(WHO)针对医疗废物的管理和处置也提出了相关的要求。

### 2.1.1 POPs 公约对危险废物焚烧处置的管理要求

POPs 公约针对持久性有机污染物提出了 5 个需要实现的主要目标包括：

(1) 首先消除 12 种持久性有机污染物；(2) 支持向使用较安全的 POPs 替代品过渡；(3) 采取行动对更多 POPs 实施控制；(4) 清除堆存的 POPs，并清理含 POPs 的设备；(5) 发动各方面力量，致力于 POPs 的消除。

目标(1) 提出首批控制的 12 种 POPs 物质分为三类，即需要消除的、需要限制使用的、非故意生产的 POPs，公约分别规定了相应的淘汰削减义务。

对于危险废物焚烧处置而言，焚烧过程中产生的二噁英、HCB、PCB(多氯联苯)等污染物是公约首批控制非故意生产的 POPs 被列入公约附件 C，公约第五条明确提出缔约方应采取相应措施以减少这些化学品的人为来源的排放，并要求各缔约国采用最佳实用技术(BAT)和最佳环境实践(BEP)。

研究表明，危险废物焚烧处置产生公约附件 C 控制的 POPs 的主要原因是危险废物中存在烃类和芳香族高分子物质，在有氯元素和铜、铁、铝等金属物质存在的条件下，经过非理想条件焚烧而发生的。因此在危险废物的管理和处置方面，POPs 公约要求采用最佳可行技术(BAT)和最佳环境实践(BEP)，以有效减少 POPs 的排放。公约在附件 C 第五部分中给出了 BAT/BEP 的一般性预防措施，与危险废物管理相关的有用措施包括：(1) 采用易实现减量化的技术；(2) 采用危险性较小的物质实施危险废物处置；(3) 改进废物管理，停止以露天方式和以其它不加控制的方式进行废物焚烧；(4) 在考虑建设新的废物处置措施时，应优先考虑焚烧替代办法；(5) 减少危险废物处置中污染物的排放量。

公约行动守则对 BAT/BEP 的具体落实和推广给予了详细的介绍。现将与危险废物管理和处置有关的主要内容概况总结如下：

(1) 推进政府立法。各国政府应制定相关政策和配套管理办法，实现危险废物的管理和处置有法可依，并符合公约要求；(2) 建立危险废物分类目录，确定和 POPs 产生有关危险废物类型；(3) 建立有效的危险废物管理系统，在分类、收集、包装、转运、暂存过程中，尽量减少包装物，在安全的前提下尽可能重复使用可利用的包装物，减少塑料包装物；(4) 对危险废物进行科学分类，应选择与处置方式相适应的危险废物分类方法；(5) 慎建和减少建设危险废物焚烧炉，减少采用焚烧处置的危险废物的数量；(6) 在满足公共卫生安全的前提下，尽可能的提倡资源回收利用；(7) 关注科技进步，推进采用新技术，替代已过时的不合理的危险废物处置技术；(8) 公约缔约方以及各国政府应支持开发和推广废物减量化技术研究，推进环境友好的处置技术的研发和应用。

联合国环境规划署 POPs 公约秘书处基于 POPs 公约第 5 条附件 C 制定了《最佳可行技术

与最佳环境实践导则》(以下简称“BAT/BEP 导则”),该导则认为焚烧技术是危险废物处置中最为成熟的技术,并对主流焚烧技术,如回转窑、热解、流化床等焚烧炉的工艺设计和运行参数进行了严格的规定,也对危险废物的产生、收集、分类、贮存、运输、处理及最终处置过程提出了详细的要求。在污染物排放限值方面,BAT/BEP 导则对焚烧处置过程的二噁英没有提出强制性的标准,但是认为采用 BAT 技术的焚烧炉尾气二噁英排放应达到  $0.01 - 0.1 \text{ ng TEQ/Nm}^3$  的水平,而  $0.1 \text{ ng TEQ/Nm}^3$  的排放限值是该导则认为是实现的最低标准要求(UNEP Chemicals, 2001)。这一点对于中国如何加强危险废物焚烧处置污染控制提出了更高的要求。

### 2.1.2 巴塞尔公约对危险废物焚烧处置和管理要求

《巴塞尔公约》的宗旨是减少危险废物的产生,核心目标是实现危险废物的环境无害化管理(ESM),保护人类健康和尽可能地减少危险废物对环境的破坏。该公约提倡危险废物就地处理和处置,防止危险废物的非法转移。它作为最早提出危险废物污染控制的国际公约,其主导思想是有效控制危险废物越境转移,以保障国际社会以对环境无害的方式处理危险废物。它提出了危险废物处置的 BAT/BEP 理念,这是对危险废物焚烧处置污染控制提出的更高要求。

《巴塞尔公约》在限制危险废物越境转移的同时也制定了一系列技术导则,其意图是向那些正在从事安全有效处置和管理危险废物能力建设的国家提供指导,提高危险废物处置的技术水平,并以此协助它们制定出详尽的管理制度和程序,以及废物全过程管理的计划和战略,最终实现危险废物环境无害化的目标。

针对危险废物焚烧,《巴塞尔公约》制定了关于陆上焚化(D10)的技术导则,该导则旨在为开展危险废物管理和处置的国家提供指导。鉴于公约关注的关键问题在于危险废物无害化处理,本导则中提及关于危险废物焚烧处置方面的要求,特别是在焚烧过程中可能产生的有害物质,如氯化氢、氟化氢、重金属及二噁英等,为了使避免或减少危险废物焚烧过程中这些高危污染物的产生和排放,要求建立严格的排放标准和二次污染控制措施。同时强调了危险废物处置全过程管理的重要性,并提出了相关措施和建议,为危险废物的无害化处置提供了重要依据。

### 2.1.3 世界卫生组织关于危险废物焚烧处置的管理要求

世界卫生组织针对危险废物的管理和处置要求主要在医疗废物,1998年世界卫生组织根据相关的研究成果,组织编写了《医疗废物安全管理》(Safe management of wastes from health-care activities)一书,将医疗废物分为九大类,包括:(1)感染性废物;(2)病理性废物;(3)损伤性锋利物;(4)药物性废物;(5)遗传毒性废物;(6)化学性废物;(7)重金属废物;(8)高压容器;(9)放射性废物。针对以上废物的管理问题,WHO 从国家立法和管理行动计划,医疗机构内部医疗废物管理,医疗废物减量措施,医疗废物的收集、分类、包装、

运输、处理、处置，优先支持的活动，以及发展战略等提出了相应的要求。

该书指出，国家立法是保证医疗废物安全处理的核心基础，法律条文包括废物的处理、分类、收集、分装和运输，以及各种人员的责任和培训，同时必须有政府文件及相关技术指导作为补充说明。在实施过程中，要做好示范工作，逐步、逐级、逐一地实施，以保证医疗废物管理的正确落实。该书也进一步指出，医疗废物管理是一个连续的过程，需要周期性的监测和评估，国家推荐的处理方法应根据科研的最新进展定期更新。世界卫生组织关于国家立法和管理行动计划的基本提法成为世界各国推进医疗废物管理的重要立法管理导向。

该书也提出，安全可靠的医疗废物处理方法是重要的，对其处置不当，将给健康和环境带来严重的后果；进行有效的医疗废物管理和处置要求全社会的合作和协调，另外，建立一整套法律法规体系，人员培训及提高公共意识是成功实施医疗废物管理和处置的重要条件。

在 WHO 支持的医疗废物管理相关活动导向性原则方面，与医疗废物焚烧处置有关的内容包括：

(1) 支持在全球范围内减少有害气体的排放，减少疾病发生，延缓全球气候变暖；(2) 支持斯德哥尔摩公约履约的相关活动；(3) 支持关于危险废物和其它废物履行巴塞尔公约的活动；(4) 通过促进采用高温焚烧可行实践，减少同废物焚烧有关的有毒污染物暴露。在医疗废物管理相关战略方面提出：为了更好的促进各个国家在决定采取的医疗废物管理方法，指南提出了近期、中期和远期的医疗废物管理战略。

## 2.2 国外危险废物焚烧处置技术应用和管理状况

### 2.2.1 美国危险废物焚烧处置技术应用和管理状况

#### (1) 美国危险废物焚烧处置技术应用状况

美国对于危险废物焚烧处置技术应用较早，1974-1983 年间，美国便在海域对橘黄指示剂、PCBs 及废液进行了大量的焚烧处置研究工作，并建造了移动式焚烧炉，焚烧处置了含二噁英的液体 14 万 t 和包括受污染土在内的二噁英污染物 18 万 t，在长期的摸索实践当中，美国形成了以回收利用、焚烧、填埋等为主的危险废物处置技术体系。

美国在采用焚烧方式处置危险废物过程中也意识到了危险废物焚烧处置的负面环境影响，为有效控制焚烧过程中产生二噁英等污染物对公众健康具有的潜在威胁，美国在焚烧处置技术应用上做了大量的工作，首先通过法律的形式严格管理焚烧处置技术的应用，通过许可证制度的实施为技术应用的全过程进行把关。另外，美国对不同时期建设、不同水平、不同类型的设施进行了升级完善，开发性能测试、运行管理和监督管理等一系列技术，有效控制了二次污染物的产生和排放，形成了从废物进场开始到废物最终处置全过程的控制技术体系，从而保证了这些设施的安全稳定运行。

#### (2) 美国危险废物焚烧处置的管理状况



美国是目前世界上工业发达国家中环境法规体系最为完善的国家之一，其在危险废物环境管理方面从上世纪 70 年代以来加速了立法的步伐，先后颁布了一系列的法律法规，主要包括：1970 年颁布《资源保护和恢复法》(RRA)和《清洁空气法》(CAA)、1976 年颁布《资源保护与回收利用法》(RCRA)和《有毒物质控制法》、1980 年颁布《综合环境反应、补偿和责任法》(CERCLA)、1984 年颁布《危险废物和固体废物法》(NMTA)、1988 年颁布《医疗废物追踪法》(NMTA)、1990 年颁布《污染预防法》(PPA)、1992 年颁布《联邦设施法》等。根据以上法律，美国危险废物管理职能机构是联邦政府，美国环保署(EPA)是执行机构，在危险废物管理上负有领导、监督、支持和部分实施的作用。EPA 可以授权有关州实施该州管辖区内的危险废物管理工作，如果某个州的实施情况达不到要求，则该州危险废物管理由 EPA 直接进行。美国直接适用危险废物焚烧处置的管理的法律主要有《清洁空气法》(CAA)和《资源保护与回收利用法》(RCRA)等，这两部法律主要从污染控制、设施性能评价和运行管理等方面提出危险废物焚烧的管理要求，形成了从废物进场开始到废物最终处置全过程的控制技术体系，以保证危险焚烧处置的环境安全性和设施运行稳定性，进而引导危险废物焚烧处置向环境友好的方向发展。

#### ①危险废物焚烧污染控制

美国《资源保护和恢复法》颁布初期，EPA 曾积极推进采用焚烧的方式尽可能多的处置危险废物，并将危险废物焚烧残渣采用填埋的方式进行处置，但随着技术水平的发展，研究发现，不完全燃烧和不适宜的焚烧会排放大量的二次污染物，对人体健康具有潜在的威胁，为此，美国不断加强对危险废物焚烧的污染控制要求。

首先，美国在《清洁空气法》中提出限制有毒气体进入大气的有关规定，并提出了二氧化硫、颗粒物、二氧化碳、一氧化碳、臭氧和铅等六项针对性指标的限值要求。之后 1999 年 9 月 EPA 颁布了《清洁空气法/资源保护法规》，基于《清洁空气法》中的控制技术标准方法，对危险废物焚烧排放标准进一步升级，该规则对二噁英、汞、镉、铅、氯化氢、颗粒物、二氧化碳、一氧化碳等排放限值进行了严格的规定。而针对危险废物以及医疗废物焚烧设施，分别于 1999 年，2005 年以及 2008 年颁布新的法规及标准，推进焚烧过程的污染控制，提出了明确的标准限值以及管理要求。

#### ②危险废物焚烧处置许可和性能测试

基于危险废物焚烧将产生多种危险污染物，为降低危险废物的焚烧风险，美国在《资源保护与回收利用法》和《清洁空气法》中提出了许可证制度。《资源保护与回收利用法》规定危险废物焚烧处置设施的所有者或经营者，必须在开始建设焚烧处置设施前获得许可证，在设施建设前就通过许可证限定保证污染物排放达标的条件，并通过对建设后的调试、试烧、后期试烧和运行等阶段的测试来保证焚烧设施已经落实许可证规定的条件。《清洁空气法》规定，即使危险废物焚烧处置设施已达到《资源保护与回收利用法》许可证规定的条件，也必须获得《清洁空气法》规定的 V 类许可证，该许可证与《资源保护与回收利用法》许可证

不同的是审批过程，该许可证是在设施建成后已经符合了排放标准颁发。许可证制度要求在焚烧设施建成后需要进行危险废物的实际试烧和性能测试，完成性能评价，以获得或完善有益于环境安全的操作条件。为保证许可证的实施，美国配套制定了性能检测制度，针对许可证要求条件的检测规定了焚烧设施试运行、质量控制、性能测试等的详细要求。EPA 制定了试运行技术导则，并提出了试运行期间要进行性能测试的具体要求。

可以看出，美国通过立法授权许可证的方式来加强危险废物焚烧处置的管理，并通过试烧实施性能评价，为许可证的审批、核发和修改提供了充足的依据，进而最终实现危险废物处置设施的安全运行及可持续管理。

### ③危险废物焚烧处置运行管理和监督检查

为保证危险废物焚烧处置设施的安全稳定运行，有效控制污染物排放，美国建立了危险废物焚烧处置运行管理和监督检查机制。在运行管理方面。首先规定在焚烧危险废物时，必须对焚烧工艺和设备进行监测和检验，以避免潜在事故或不完全燃烧情况的发生，主要包括包括单元的操作参数、投料率、点火系统、温度允许范围、系统设计和操作程序变化、气体流量等。

对于监督检查，美国 RCRA 指南第 3007 部分对危险废物焚烧处置设施实施监督检查问题进行了专门的规定。EPA 和被授权的州政府部门的代表有权力进入任何危险废物处理场所检查相关记录和进行废物采样，所有的危险废物处置设施都要求至少每两年检查一次，当 EPA 和州政府部门怀疑处置单位有违规行为时，也可以随时对处理设备进行检查。另外，当需要收集对 RCRA 规则制定的有用信息时，或需要跟踪了解计划进展和完成情况时，也可以对处理设备进行检查。

在医疗废物处置方面，处置设施的运行和管理是在由联邦、州和地方三级政府制定的法规、方针政策以及标准规定的框架下实施的。美国环保署制定了《感染废物管理导则》，对医疗废物的定义和分类进行了明确，并对不同类别医疗废物的收集、包装、运输、处理和处置技术提出了建议。为了推进对医疗废物焚烧设施的规范化管理，EPA 大气质量计划与标准办公室(OAQPS)专门针对新建医疗废物焚烧炉制定了排放标准，使其成为美国《清洁空气法案》的一个组成部分。为了满足这一要求，需要配置相应的尾气污染控制设备，要在原有焚烧基础上配置二段炉，要对焚烧尾气进行定期的监测，对焚烧炉温度等工况参数要进行连续监测，该法规也规定要对操作者进行培训并获得相应的资格，要制定相应的废物管理计划，建立汇报及记录制度等。

## 2.2.2 欧盟危险废物焚烧处置技术应用和管理状况

### (1) 欧洲危险废物焚烧处置技术应用状况

根据欧洲环境署的统计，欧盟每年产生危险废物约 4000 万 t，而欧洲危险废物处置的主要方式包括回收、填埋和焚烧等，其中焚烧处置是欧洲多数国家危险废物的主要处置技术。欧盟在应用危险废物焚烧处置技术的同时，也开始对危险废物焚烧处置污染控制日益重视，

在欧盟焚烧指令中提出了焚烧场的设计，配备，建造和操作应满足其尾气达标排放的要求，并实施了许可证制度。

## **(2) 欧洲危险废物焚烧处置的管理状况**

联合国环境规划署 (UNEP) 在《控制危险废物越境转移及其处置巴塞尔公约》中列出了应控制的废物类别共 45 类，须加特别考虑的废物类别共 2 类，据此欧盟各国制定鉴别标准和危险废物名录。在欧盟的法律中 (91/689/EWG) 对危险废物的管理要满足多项指令或标准规定，《欧盟废物焚烧指令》(2000/76/EC) 就是最为重要的一项。该指令的目标是尽量防止或限制焚烧或联合焚烧企业排放至空气、土壤，地表水和地下水中的污染物，并尽量防止或限制污染排放对人类健康的威胁风险。指令制定了严格的操作条件和技术措施，并通过在欧洲共同体范围内焚烧和联合焚烧设施排放限值的制定，以满足欧洲废物指令 (75/442/EEC) 的要求。该指令为推进危险废物焚烧处置设施的安全运行和管理提供了管理和技术依据。另外，为了推进废物处置行业最佳可行技术的应用，欧盟提出了《废物处理行业最佳可行技术参考文件》和《废物焚烧最佳可行技术参考文件》，用于指导欧盟各国的废物处置，包括危险废物处置。

在焚烧设施运行操作管理技术方面，针对废物焚烧线、废物燃料、空气输送系统、余热锅炉、尾气处理设施、残留物和废水处理装置、清洗装置、自动控制系统，以及记录和监测装置等都提出了具体的规定。指令提出对焚烧设施运行的焚烧水平、焚烧工艺条件要求，并对具感染性和持久性等特殊危险废物焚烧提出了特殊要求。同时要求危险废物处置设施操作人员所应具备的条件，并获得相关资格证明，注重在废物运送、接收和处置过程中应采取必要的防护措施。可以看出，该指令通过对危险废物焚烧装置的运行参数、运行过程中污染物排放限值以及人员管理等方面的相关规定来达到对焚烧处置设施的安全有效运行。另外，该指令对焚烧尾气、废水、残渣的处理处置、焚烧的监测以及技术评估、汇报和行政处罚等进行了规定。

在医疗废物焚烧处置方面，欧盟也在逐渐创造各种条件以不同方式解决医疗废物管理问题。在欧盟国家，医院及其他卫生机构所产生的固体废物类可以作为城市固体废物，而传染性的或者有害的废物，要求用特殊方法进行处置。欧洲目前处置医疗废物的主要形式仍然是以焚烧为主，尽管非焚烧技术已经处于逐步扩大应用阶段。但焚烧处置必须满足大气污染控制标准的要求。欧盟的所有废物 (危险的或是非危险的) 都要遵循欧委会指令 75/442/EEC，危险废物还必须遵循欧委会指令 91/689/EEC，欧盟没有单独的医疗废物立法，因此医疗废物的管理应该受到废物和危险废物管理立法的制约，欧委会指令 2000/76/EC：焚烧指令取代了三项旧的指令，并建立了焚烧厂的许可证条件。该指令还包括与废物递送和接受的要求以及焚烧废渣的管理，依据指令的要求，在适当的情况下废渣应该循环利用。另外，该指令还包括对大气排放的控制和监测的要求。

### 2.2.3 日本危险废物焚烧处置技术应用和管理状况

日本主要依据《循环型社会形成促进法》进行危险废物处理,对于工业废物处理主要采取收集和利用的方式,末端处理厂的数量很低,但对于特别需要处理的废物可采用焚烧处置方式,目前日本用于废物焚烧的设施总计为3840座(规模为2t/h以下、2-4t/h和4t/h以上3类),每年焚烧废物量约为1650万t。日本对于废物焚烧污染控制在1979年就建立了严格的排放标准要求,其中要求4t/h以上的处置设施二噁英排放不高于0.1ngTEQ/Nm<sup>3</sup>。对于医疗废物,1992年推出了感染性废物处置准则。该准则规定医疗废物应执行感染性废物的管理规程,应做分类、贮存、灭菌、焚烧等工作;而医院内部非感染性废物,如后勤及行政部门产生的废物应与感染性废物区别对待,应按照一般生活垃圾进行处理,可以再生利用。日本也对医疗废物处理设施进行严格的管理并进行登记注册,要求采用医疗废物运送专用车辆运送医疗废物,并采用专用的焚烧设施进行医疗废物处置,处置过程中要定期对二噁英等焚烧尾气的浓度和温度实行定期监测,焚烧后的残渣在最终处置场进行填埋处置。在医疗废物处理监督管理方面,其处理过程的监督有各都、道、府、县及市、町、村,日本全国产业废物联合会、医疗废物恰当处理计划促进会和民间团体联合实行,对于易于违法地点设置监视系统以及地方居民的电话传真举报系统,对违法者将采取相应的处罚措施进行处罚。

### 2.2.4 发展中国家危险废物焚烧处置技术应用和管理状况

在发展中国家,伴随着世界危险废物处置技术不断推陈出新的浪潮,也正在逐步完善现行技术应用管理体系。但是,发展中国家在处置设施的能力建设方面、指导技术应用的政策、法规和标准方面,以及在推进相关培训体系和环境意识提高方面存在着较大的差距,需要通过加大投入,进行技术升级改造,加强培训和提高公众环境意识。

## 2.3 国内危险废物焚烧处置技术应用和管理状况

我国作为最大的发展中国家,有数据显示全国危险废物年产生量约为2300余万t,鉴于危险废物的严重危害性和潜在的环境风险,我国对危险废物的管理也十分重视,先后颁布了《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》(以下简称“固废法”)和《危险废物名录》等法律法规,并分别于1990年和2001年签署了巴塞尔公约和POPs公约,充分表明了我国推进危险废物污染控制工作的信心和决心。2003年,“非典”爆发后,我国为控制危险废物、医疗废物和放射性废物环境污染颁布了《全国危险废物和医疗废物处置规划》(以下简称“规划”),规划确定了以焚烧热解为主的危险废物处置技术路线,表明焚烧技术仍然是我国危险废物和医疗废物处置的最为主要的技术选择。

### 2.3.1 我国危险废物焚烧处置技术应用现状

我国危险废物的处置和管理起步较晚,与美国等发达国家相比存在较大差距,在“规划”实施之前,我国危险废物集中处置设施建设严重滞后,大部分危险废物处于低水平处置和综

合利用、简单贮存或直接排放状态，医疗废物流失严重，大量医疗废物混入生活垃圾，与保障环境安全和人民健康要求差距较大。自 2004 年“规划”实施以来，我国在危险废物处置设施建设方面加大了力度，基本完成“规划”的建设内容，初步形成以集中处置为核心的危险废物和医疗废物的处置模式。

根据全国危险废物处置设施普查结果，2004 年规划实施前，我国在危险废物处置方面，我国有 498 个集中式处置设施，其中焚烧处置设施 79 座，70 座为单独焚烧处置设施，5 座为综合利用和焚烧合建设施，4 座为综合利用、焚烧和填埋合建设施，焚烧处置设施占全国总设施数的 15.4%，占全国总处置能力的 9.1%，以上设计焚烧处置能力为  $52.14 \times 10^4 \text{t/a}$ ；在于医疗废物的处置方面，全国现有 106 座集中式焚烧处置设施和“非典”期间建设的应急焚烧集中处置设施 43 座，共 149 座，占全国总设施数的 96.12%，设计处理能力合计为 1327.43t/d。到 2011 年年底我国省级综合危险废物处置设施达到 50 余座，就省级危险废物集中处置中心而言基本均配置了以回转窑为主要技术的处置设施。从我国发展状况来看，焚烧仍是目前危险废物和医疗废物较为重要的处置技术。

在医疗废物处置设施方面，截至 2012 年年底，国债资金建设的医疗废物处置设施分布在 28 个省，工艺包括热解焚烧、高温蒸汽、干化学消毒、回转窑焚烧等，具体情况如下表 2-1 所示。

表 2-1 国债资金建设的医疗废物处置设施分布情况

省、自治区、直辖市	省(市)	建设规模(t/d)	处理工艺
安徽	六安	5	高温蒸汽
	宣城	3	高温蒸汽
	芜湖	5	热解焚烧
	阜阳	5	热解焚烧
	安庆	5	热解焚烧
	淮南	5	热解焚烧
	蚌埠	5	热解焚烧
	滁州	5	热解焚烧
	宿州	5	热解焚烧
	淮北	5	热解焚烧
	巢湖	5	热解焚烧
	亳州	5	热解焚烧
	黄山	3	热解焚烧
	池州	3	热解焚烧
福建	宁德	5	热解焚烧
	厦门	10	热解焚烧
	泉州	8	热解焚烧
	南平	5	热解焚烧
	三明	5	热解焚烧
	龙岩	5	热解焚烧

省、自治区、直辖市	省(市)	建设规模(t/d)	处理工艺
	莆田	3	热解焚烧
甘肃	天水	5	高温蒸汽
	白银	3	高温蒸汽
	金昌	3	高温蒸汽
	嘉峪关	3	高温蒸汽
	武威	3	高温蒸汽
	张掖	3	高温蒸汽
	酒泉	3	高温蒸汽
	庆阳	3	高温蒸汽
	定西地区	3	高温蒸汽
	陇南	3	高温蒸汽
	临夏州	3	高温蒸汽
	甘南州	3	高温蒸汽
	平凉	3	微波高温
	广东	佛山	8
韶关		5	热解焚烧
江门		5	热解焚烧
梅州		5	热解焚烧
东莞		5	热解焚烧
汕头		8	热解焚烧
肇庆		8	热解焚烧
中山		8	热解焚烧
广西	崇左	3	高温蒸汽
	梧州	3	高温蒸汽
	防城港	3	高温蒸汽
	贵港	3	高温蒸汽
	来宾	3	高温蒸汽
	贺州	3	高温蒸汽
	百色	3	高温蒸汽
	柳州	5	回转窑焚烧
	桂林	8	热解焚烧
	钦州	5	热解焚烧
	玉林	5	热解焚烧
贵州	安顺	3	高温蒸汽
	黔西南	3	高温蒸汽
	黔东南	3	高温蒸汽
	黔南	3	高温蒸汽
	铜仁	3	高温蒸汽
	毕节	3	高温蒸汽
	遵义	5	热解焚烧
	六盘水	5	热解焚烧
海南	海口	8	热解焚烧

省、自治区、直辖市	省(市)	建设规模(t/d)	处理工艺
河北	三亚	5	热解焚烧
	廊坊	8	干化学消毒
	张家口	8	干化学消毒
	衡水	5	高温蒸汽
	秦皇岛	10	热解焚烧
	邯郸	5	热解焚烧
	石家庄	15	热解焚烧
	承德	5	热解焚烧
	保定	10.8	热解焚烧
	邢台	8	热解焚烧
河南	唐山	10	热解焚烧
	新乡	8	干化学消毒
	焦作	5	干化学消毒
	商丘	8	高温蒸汽
	驻马店	5	高温蒸汽
	信阳	5	高温蒸汽
	许昌	5	高温蒸汽
	三门峡	5	高温蒸汽
	鹤壁	3	高温蒸汽
	洛阳	12	回转窑焚烧
	周口	8	热解焚烧
	平顶山	5	热解焚烧
	开封	5	热解焚烧
	濮阳	5	热解焚烧
漯河	3	热解焚烧	
黑龙江	安阳	5	热解焚烧
	佳木斯	5	高温蒸汽
	伊春	3	高温蒸汽
	鹤岗	3	高温蒸汽
	七台河	3	高温蒸汽
	绥化	5	高温蒸汽
	大兴安岭	3	高温蒸汽
	齐齐哈尔	8	热解焚烧
	大庆	5	热解焚烧
	鸡西	5	热解焚烧
	牡丹江	5	微波高温
	双鸭山	3	微波高温
湖北	黑河	5	微波高温
	荆门	3	高温蒸汽
	恩施	3	高温蒸汽
	荆州	8	高温蒸汽
	孝感	5	高温蒸汽

省、自治区、直辖市	省(市)	建设规模(t/d)	处理工艺
	鄂州	3	高温蒸汽
	襄樊	8	高温蒸汽
	随州	3	高温蒸汽
	十堰	5	热解焚烧
	武汉	48	热解焚烧
	黄冈	10	热解焚烧
	黄石	8	热解焚烧
湖南	郴州	5	干化学消毒
	邵阳	8	干化学消毒
	湘西	3	高温蒸汽
	常德	8	回转窑焚烧
	株洲	8	热解焚烧
	怀化	8	热解焚烧
	益阳	5	热解焚烧
	张家界	3	热解焚烧
	永州	5	热解焚烧
	湘潭	5	热解焚烧
	娄底	5	热解焚烧
	岳阳	5	热解焚烧
	吉林	四平	6
通化		5	高温蒸汽
长春		5	回转窑焚烧
白城		5	热解焚烧
松原		5	热解焚烧
白山		5	热解焚烧
辽源		3	热解焚烧
延边		8	热解焚烧
江苏	常州	5	高温蒸汽
	扬州	10	高温蒸汽
	连云港	5	高温蒸汽
	南通	10	热解焚烧
	无锡	9	热解焚烧
	泰州	10	热解焚烧
	淮安	6	热解焚烧
	镇江	10	热解焚烧
	宿迁	8	热解焚烧
江西	宜春	5	高温蒸汽
	萍乡	3	高温蒸汽
	景德镇	3	高温蒸汽
	新余	3	高温蒸汽
	南昌	15	热解焚烧
	赣州	8	热解焚烧



省、自治区、直辖市	省(市)	建设规模(t/d)	处理工艺
	吉安	5	热解焚烧
	抚州	5	热解焚烧
	鹰潭	3	热解焚烧
辽宁	鞍山	8	干化学消毒
	丹东	7.2	干化学消毒
	阜新	5	干化学消毒
	朝阳	5	高温蒸汽
	本溪	6	热解焚烧
	铁岭	5	热解焚烧
	辽阳	5	热解焚烧
	营口	5	热解焚烧
	盘锦(搬迁)	3	热解焚烧
	锦州	5	热解焚烧
	葫芦岛	5	热解焚烧
内蒙古	鄂尔多斯	3	高温蒸汽
	呼伦贝尔	3	高温蒸汽
	乌兰察布	3	高温蒸汽
	锡林郭勒	3	高温蒸汽
	巴彦淖尔	3	高温蒸汽
	阿拉善	3	高温蒸汽
	呼和浩特	8	热解焚烧
	赤峰	5	热解焚烧
	乌海	3	热解焚烧
	兴安盟	3	热解焚烧
宁夏	石嘴山	3	高温蒸汽
	固原	3	高温蒸汽
	中卫	3	高温蒸汽
	吴忠	3	微波高温
青海	海东	3	高温蒸汽
	海南	3	高温蒸汽
	海西	3	高温蒸汽
	海北	3	高温蒸汽
	黄南	3	高温蒸汽
	果洛	3	高温蒸汽
	玉树	3	高温蒸汽
	格尔木	3	高温蒸汽
山东	潍坊	8	干化学消毒
	泰安	8	高温蒸汽
	济南	24	热解焚烧
	济宁	5	热解焚烧
	烟台	18	热解焚烧
	淄博	10	热解焚烧

省、自治区、直辖市	省(市)	建设规模(t/d)	处理工艺
	菏泽	8	热解焚烧
	枣庄	8	热解焚烧
	聊城	5	热解焚烧
	德州	5	热解焚烧
	东营	5	热解焚烧
	威海	5	热解焚烧
	日照	5	热解焚烧
	莱芜	5	热解焚烧
山西	吕梁	3	高温蒸汽
	运城	8	高温蒸汽
	晋城	5	热解焚烧
	晋中	5	热解焚烧
	朔州	3	热解焚烧
	阳泉	5	热解焚烧
	忻州	5	热解焚烧
	大同	5	热解焚烧
	临汾	8	热解焚烧
	长治	5	热解焚烧
陕西	宝鸡	5	高温蒸汽
	延安	3	高温蒸汽
	安康	3	高温蒸汽
	西安	20	热解焚烧
	渭南	5	热解焚烧
	榆林	5	热解焚烧
	商洛	5	热解焚烧
四川	绵阳	5	高温蒸汽
	南充	5	高温蒸汽
	达州	5	高温蒸汽
	宜宾	5	高温蒸汽
	乐山	5	高温蒸汽
	德阳	5	高温蒸汽
	广元	5	高温蒸汽
	内江	3	高温蒸汽
	遂宁	3	高温蒸汽
	资阳	5	高温蒸汽
	泸州	5	高温蒸汽
	自贡	3	高温蒸汽
	广安	3	高温蒸汽
	眉山	3	高温蒸汽
	巴中	3	高温蒸汽
	雅安	3	高温蒸汽
甘孜州	3	高温蒸汽	

省、自治区、直辖市	省(市)	建设规模(t/d)	处理工艺
	凉山州	3	高温蒸汽
	阿坝州	3	高温蒸汽
西藏	昌都	3	高温蒸汽
	山南	3	高温蒸汽
	日喀则	3	高温蒸汽
	林芝	1	高温蒸汽
	那曲	3	热解焚烧
	阿里	3	热解焚烧
新疆	吐鲁番	3	高温蒸汽
	哈密	3	高温蒸汽
	和田	3	高温蒸汽
	喀什	3	高温蒸汽
	巴州	3	高温蒸汽
	昌吉	3	高温蒸汽
	博州	3	高温蒸汽
	阿勒泰	3	高温蒸汽
	塔城	3	高温蒸汽
	克拉玛依	3	热解焚烧
	伊犁	5	热解焚烧
	云南	玉溪	3
楚雄		5	高温蒸汽
丽江		3	高温蒸汽
迪庆		3	高温蒸汽
保山		3	热解焚烧
昭通		3	热解焚烧
文山		3	热解焚烧
大理		5	热解焚烧
普洱		3	热解焚烧
德宏		3	热解焚烧
西双版纳		3	热解焚烧
临沧		3	热解焚烧
怒江		5	热解焚烧
浙江	嘉兴	8	回转窑焚烧
	湖州	30	回转窑焚烧
	衢州	15	回转窑焚烧
	金华	5	热解焚烧
	绍兴	10	热解焚烧
	舟山	5	热解焚烧
	丽水	5	热解焚烧
重庆	万州	5	高温蒸汽
	黔江	5	高温蒸汽
	涪陵	5	高温蒸汽

由表 2-1 可以看出,到 2011 年 12 月底,全国建成投运的医疗废物处理设施将达到 272 座,其中采用热解及焚烧的设施为 137 个(包括 7 个回转窑焚烧和 137 个热解焚烧),占设施总数的 50%。可以说就医疗废物处置工艺而言,呈现出焚烧技术和非焚烧技术并举的态势。这就要求我国对于危险废物管理的重心放在充分发挥现有焚烧设施处置能力建设方面,在发挥现有设施处置能力的同时,焚烧处置设施的运行和管理技术的开发和完善也成为重中之重。这就要求加强危险废物处置的全过程管理,处置能力提升的同时应更加关注设施运行的监督管理,使得处置设施充分发挥作用的同时减少环境风险。

### 2.3.2 我国危险废物焚烧处置管理现状

在不断升级的环境保护需求和履行国际公约的背景下,我国不断完善危险废物处置和管理体系,为实现危险废物可持续管理,消除危险废物对人体健康和环境安全的危害,推进履行国际公约进程做出了空前的努力。

我国现行危险废物焚烧管理体系由法律、法规、标准等构成。法律在《中华人民共和国宪法》、《中华人民共和国环境保护法》的指导下以《固废法》为管理基本大法;法规以《危险废物转移联单管理办法》、《危险废物经营许可证管理办法》和《全国危险废物和医疗废物处置设施建设规划》为代表;标准以《危险废物焚烧污染控制标准》为主体,以《危险废物集中焚烧处置工程建设技术规范》、《医疗废物集中焚烧处置工程建设技术规范》等为支撑。以上体系中主要法律及相关政策规定如下:

➤ 《中华人民共和国环境保护法》中全面规定了环境保护的体系和制度,从法律内容来看,分为环境监督管理、保护和改善环境、防治环境污染和其他公害、法律责任和附则等几个部分,是中国环境保护根本法。

➤ 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》对中国危险废物污染环境防治工作提出了明确的规定,内容包括固体废物污染环境防治的监督管理、固体废物污染环境的防治、危险废物污染环境防治的特别规定、法律责任及附则,该法是中国危险废物环境管理的专项法。

➤ “规划”中确定了我国危险废物处置的技术路线,同时要求在建设危险废物处置设施的同时,还要建立、完善危险废物、医疗废物和放射性废物全过程监督管理体系,以对危险废物的处置设施运行进行有效管理。

➤ 《危险废物经营许可证管理办法》提出了从事危险废物收集、贮存、处置经营活动的单位,应当依照本办法的规定,领取危险废物经营许可证。

➤ 《危险废物转移联单管理办法》规定进行危险废物转移时,其转移者、运输者和接受者,不论各环节涉及者数量多寡,均应按国家规定的统一格式、条件和要求,对所交接、运输的危险废物如实进行转移报告单的填报登记,并按程序和期限向有关环境保护部门报告。

➤ 《危险废物焚烧污染控制标准》对焚烧设施的焚烧温度、烟气停留时间、燃烧效率、焚毁去除率、烟气排放等进行了限值规定。

➤ 《危险废物集中焚烧处置工程建设技术规范》、《医疗废物集中焚烧处置工程建设技术规范》规定了危险废物和医疗废物焚烧处置设施选址、设计及工程建设等内容，宏观性的提出了部分运行管理规定。

通过以上分析，说明我国基本构建了危险废物焚烧处置管理体系，但还存在不具体、不健全的问题，且在污染控制方面与发达国家差距仍然较大。

## 2.4 国内外危险废物处置技术应用和管理状况总体评估

在危险废物焚烧处置技术应用管理模式方面，各个国家围绕其处置污染控制方面开展了大量工作，为控制危险废物焚烧过程所将带来的环境问题，国外一方面为推进履约进程不断采用 BAT/BEP，改善焚烧工艺，减少为其中有毒物质的排放；另一方面也不断加严相应的污染控制标准，以便更好地对危险废物焚烧过程进行管理。从目前国际上的总体状况来看，首先焚烧是二噁英产生首要来源，也是汞产生的主要来源，焚烧过程还能产生其他金属污染物例如铅、镉、砷、和铬以及卤化烃、造成酸雨的酸性气体，温室气体等。但是，尽管其处置过程存在较大的环境风险，焚烧技术还将作为当前最有效的废物处置方式而进一步获得更新和完善，并将作为一项主流的危险废物处置技术而不断日新月异。但是，更为重要的是焚烧处置的运行管理也正在逐步的提到议事日程，一项好的技术只有嫁接在一个良好的运行管理手段的基础上才能切实发挥其有效作用。

### 2.4.1 美国危险废物焚烧处置的管理状况

美国在采用焚烧方式处置危险废物过程中也意识到了危险废物焚烧处置的负面环境影响，为有效控制焚烧过程中产生二噁英等污染物对公众健康具有的潜在威胁，美国在焚烧处置技术应用上做了大量的工作，首先通过法律的形式严格管理焚烧处置技术的应用，通过许可证制度的实施为技术应用的全过程进行把关。另外，美国对不同时期建设、不同水平、不同类型的设施进行了升级完善，开发性能测试、运行管理和监督管理等一系列技术，有效控制了二次污染物的排放，形成了从废物进场开始到废物最终处置全过程的控制技术体系，从而保证了这些设施的安全稳定运行，同时针对专用危险废物焚烧处置过程产生的二噁英等物质排放指标要求低于  $0.2\text{ng TEQ}/\text{m}^3$ 。

美国是目前世界上工业发达国家中环境法规体系最为完善的国家之一，其在危险废物环境管理方面从上世纪 70 年代以来加速了立法的步伐，先后颁布了一系列的法律法规，主要包括：1970 年颁布《资源保护和恢复法》(RRA)和《清洁空气法》(CAA)、1976 年颁布《资源保护与回收利用法》(RCRA)和《有毒物质控制法》、1980 年颁布《综合环境反应、补偿和责任法》(CERCLA)、1984 年颁布《危险废物和固体废物法》(NMTA)、1988 年颁布《医疗废物追踪法》(NMTA)、1990 年颁布《污染预防法》(PPA)、1992 年颁布《联邦设施法》等。根

据以上法律，美国危险废物管理职能机构是联邦政府，美国环保署(EPA)是执行机构，在危险废物管理上负有领导、监督、支持和部分实施的作用。EPA可以授权有关州实施该州管辖区内的危险废物管理工作，如果某个州的实施情况达不到要求，则该州危险废物管理由EPA直接进行。美国直接适用危险废物焚烧处置的管理的法律主要有《清洁空气法》(CAA)和《资源保护与回收利用法》(RCRA)等，这两部法律主要从污染控制、设施性能评价和运行管理等方面提出危险废物焚烧的管理要求，形成了从废物进场开始到废物最终处置全过程的控制技术体系，以保证危险焚烧处置的环境安全性和设施运行稳定性，进而引导危险废物焚烧处置向环境友好的方向发展。

美国《资源保护和恢复法》颁布初期，EPA曾积极推进采用焚烧的方式尽可能多的处置危险废物，并将危险废物焚烧残渣采用填埋的方式进行处置，但随着技术水平的发展，研究发现，不完全燃烧和不适宜的焚烧会排放大量的二次污染物，对人体健康具有潜在的威胁，为此美国不断加强对危险废物焚烧的污染控制要求。首先，美国在《清洁空气法》中提出限制有毒气体进入大气的有关规定，并提出了二氧化硫、颗粒物、二氧化碳、一氧化碳、臭氧和铅等六项针对性指标的限制要求。之后1999年9月EPA颁布了《清洁空气法/资源保护法规》，基于《清洁空气法》中的控制技术标准方法，对危险废物焚烧排放标准进一步升级，该规则对二噁英、呋喃、汞、镉、铅、氯化氢、颗粒物、二氧化碳、一氧化碳等排放限值进行了严格的规定。并规定不论何种处置设施，其排放在规定时期内必须符合EPA的排放标准要求。

#### 2.4.2 欧盟危险废物焚烧处置的管理状况

欧盟在应用危险废物焚烧处置技术的同时，也开始对危险废物焚烧处置污染控制日益重视，在欧盟焚烧指令中提出了焚烧场的设计，配备，建造和操作应满足其尾气达标排放的要求，并实施了许可证制度。

联合国环境规划署(UNEP)在《控制危险废物越境转移及其处置巴塞尔公约》中列出了应控制的废物类别共45类，须加特别考虑的废物类别共2类，据此欧盟各国制定鉴别标准和危险废物名录。在欧盟的法律中(91/689/EWG)对危险废物的管理要满足多项指令或标准规定，《欧盟废物焚烧指令》(2000/76/EC)就是最为重要的一项。该指令的目标是尽量防止或限制焚烧或联合焚烧企业排放至空气、土壤，地表水和地下水中的污染物，并尽量防止或限制污染排放对人类健康的威胁风险。指令制定了严格的操作条件和技术措施，并通过在欧洲共同体范围内焚烧和联合焚烧设施排放限值的制定，以满足欧洲废物指令(75/442/EEC)的要求。该指令为推进危险废物焚烧处置设施的安全运行和管理提供了管理和技术依据。另外，为了推进废物处置行业最佳可行技术的应用，欧盟提出了《废物处理行业最佳可行技术参考文件》和《废物焚烧最佳可行技术参考文件》，用于指导欧盟各国的废物处置，包括危险废物处置。

在焚烧设施运行操作管理技术方面，针对废物焚烧线、废物燃料、空气输送系统、余热锅炉、尾气处理设施、残留物和废水处理装置、清洗装置、自动控制系统，以及记录和监测装置等都提出了具体的规定。指令提出对焚烧设施运行的焚烧水平、焚烧工艺条件要求，并对感染性危险废物焚烧提出了特殊要求。同时要求危险废物处置设施操作人员所应具备的条件，并获得相关资格证明。注重在废物运送、接收和处置过程中应采取必要的防护措施。可以看出，指令通过对危险废物焚烧装置的运行参数、运行过程中污染物排放限值以及人员管理等方面的相关规定来达到对焚烧处置设施的安全有效运行。另外，该指令对焚烧尾气、废水、残渣的处理处置、焚烧的监测以及技术评估、汇报和行政处罚等进行了规定。

在医疗废物焚烧处置方面，欧盟也在逐渐创造各种条件以不同方式解决医疗废物管理问题。在欧盟国家，医院及其他卫生机构所产生的固体废物类可以作为城市固体废物，而传染性的或者有害的废物，要求用特殊方法进行处置。欧洲目前处置医疗废物的主要形式仍然是以焚烧为主，尽管非焚烧技术已经处于逐步扩大应用阶段。但焚烧处置必须满足大气污染控制标准的要求。欧盟的所有废物(危险的或是非危险的)都要遵循欧委会指令 75/442/EEC，危险废物还必须遵循欧委会指令 91/689/EEC，欧盟没有单独的医疗废物立法，因此医疗废物的管理应该受到废物和危险废物管理立法的制约，欧委会指令 2000/76/EC：焚烧指令取代了三项旧的指令，并建立了焚烧厂的许可证条件。该指令还包括与废物递送和接受的要求以及焚烧废渣的管理，依据指令的要求，在适当的情况下废渣应该循环利用。另外，该指令还包括对大气排放的控制和监测的要求。

#### 2.4.3 其他国家危险废物焚烧处置技术应用和管理状况

在日本，主要依据《循环型社会形成促进法》进行危险废物处理，对于工业废物处理主要采取收集和利用的方式，末端处理厂的数量很低，但对于特别需要处理的废物可采用焚烧处置方式，目前日本用于废物焚烧的设施总计为 3840 座(规模为 2t/h 以下、2-4t/h 和 4t/h 以上 3 类)，每年焚烧废物量约为 1650 万 t。日本对于废物焚烧污染控制在 97 年就建立了严格的排放标准要求，其中要求 4t/h 以上的处置设施二噁英排放不高于 0.1ng TEQ/Nm<sup>3</sup>。对于医疗废物，1992 年推出了感染性废物处置准则。该准则规定医疗废物应执行感染性废物的管理规程，应做分类、贮存、灭菌、焚烧等工作；而医院内部非感染性废物，如后勤及行政部门产生的废物应与感染性废物区别对待，应按照一般生活垃圾进行处理，可以再生利用。日本也对医疗废物处理设施进行严格的管理并进行登记注册，要求采用医疗废物运送专用车辆运送医疗废物，并采用专用的焚烧设施进行医疗废物处置，处置过程中要定期对二噁英/呋喃等焚烧尾气的浓度和温度实行定期监测，焚烧后的残渣在最终处置场进行填埋处置。在医疗废物处理监督管理方面，其处理过程的监督有各都、道、府、县及市、町、村，日本全国产业废物联合会、医疗废物恰当处理计划促进会和民间团体联合实行，对于易于违法地点设置监视系统以及地方居民的电话传真举报系统，对违法者将采取相应的处罚措施进行处

罚。

从发达国家的情况来看，一般都通过加强立法，并编制相关支撑性标准和导则等来推进医疗废物的最佳实践，并提出了危险废物处置设施运行和管理的相关措施与方法。另外，也通过采用 BAT，如替代技术推进危险废物的恰当处置，以便最大程度的减少其对人体健康和环境带来的风险。而在发展中国家，危险废物问题还没有引起足够的关注，如医疗废物仍然与生活垃圾一起进行处理和处置，因此对于操作工人、公众以及环境带来较大的威胁。可以说，持续稳定的危险废物科学管理和处置在全球范围内都是一项艰巨的任务，各国政府均投入大量的人力、物力和财力开展相关研究工作，一个更加科学和可持续发展的医疗废物处置技术应用和管理模式是所有国家正在努力的目标。从发展中国家的情况来看，焚烧处置技术作为主流的危险废物焚烧处置技术，其应用过程大大落后于发达国家，因此，推进危险废物焚烧处置过程中安全运行和科学管理直接成为各国共同努力的目标和发展方向。

发达国家的危险废物管理，一般都是通过法律和相关支撑性标准、导则等政府文件提出危险废物处置设施运行和管理的相关措施与方法，进而来推进医疗废物的最佳环境实践。另外，也通过采用 BAT 推进危险废物的恰当处置，以便最大程度的减少其对人体健康和环境带来的风险。而在发展中国家，危险废物问题还没有引起足够的关注，如医疗废物仍然与生活垃圾一起进行处理和处置，因此对于操作工人、公众以及环境带来较大的威胁。可以说，危险废物科学的管理和安全稳定的处置在全球范围内都是一项艰巨的任务，各国政府均需投入大量的人力、物力和财力推进危险废物处置和管理的工作，对于焚烧处置设施的安全运行和科学管理更是各国共同努力的目标和发展方向。总结目前危险废物焚烧处置总体技术发展趋势来看，总体体现在三个方面：既污染物排放标准限值逐渐加严；处置设施总体技术水平不断提升；逐步加大对处置设施的安全运行管理，加强对危险废物焚烧处置污染控制和推进最佳可行技术应用成为世界各国采用焚烧技术处置危险废物的关键问题。

从中国目前危险废物集中焚烧处置技术应用和管理状况来看，伴随着“规划”的全面实施，为中国全面推进危险废物处置能力建设提供了良好的机会，但是硬件的问题暂时解决了，软件问题还有待逐步完善，相关的设施运行过程中的污染控制手段还面临着逐步进步和发展的过程，在污染控制标准方面，还不能满足国际履约以及国际日新月异的危险废物处置技术发展的实际需求。

### 3 标准修订的必要性分析

#### 3.1 国家及环保主管部门的相关要求

##### 3.1.1 国家对危险废物焚烧处置污染控制的最新要求

###### (1) 履约国家实施计划

1990年3月和2001年5月，中国政府分别签署了《巴塞尔公约》和《POPs公约》，作



为签约国，我国有责任承担起进一步削减和控制危险废物及其副产物环境污染的重任，有责任按照国家公约的要求控制各类环境污染物，有责任按照更加严格的标准全面实施危险废物管理。

为全面推进中国履行 POPs 公约进程，国家环境保护部会同各部委编制完成了《中国履行持久性有机污染物公约国家实施计划》（以下简称“国家实施计划”或“该计划”），并已于 2007 年 4 月 14 日获得国务院的批准，该计划确定了中国 POPs 履约过程的优先领域。

在针对副产物类 POPs 的管理和处置方面，该计划提出了要制定和完善履行公约所需的政策法规、加强机构建设；要引进和开发替代品/替代技术，推进产业化，引进和开发 BAT/BEP 废物处置技术和污染场地修复技术；要采用 BAT/BEP 控制重点行业二噁英排放；要建立资金机制以保障各项行动计划的实施；要开展项目示范和全面推广；要加强能力建设，建立控制 POPs 排放长效机制等优先领域和要求。

在副产物类 POPs 控制的具体目标方面提出了如下要求：①到 2008 年，基本建立无意产生 POPs 重点行业有效实施 BAT/BEP 的管理体系，实现对重点行业的新源应用 BAT，促进 BEP；② 2010 年完成部分重点行业现有源减排示范；③到 2015 年建立重点行业排放源的动态监控和数据上报机制；④ 2015 年，对重点行业推行 BAT/BEP，基本控制二噁英排放的增长趋势。

我国针对副产物类 POPs 管理和控制领域相关工作的开展，标志着中国在推进 POPs 履约方面所取得的关键性进展，为中国推进副产物类 POPs 的污染控制以及国际履约工作的开展指明了方向。

## **(2) 行业发展要求**

随着社会的进步，环境科学技术的发展以及人民生活水平的提高，人们对环境标准的要求也越来越高，期待更加安全的、高标准的环境质量。世界各国在危险废物焚烧标准方面都进行了一定的调整，美国、欧洲先后对原来的焚烧标准进行修改和完善，制定了更加严格的焚烧污染控制标准和规定。我国也加大了对危险废物污染的控制力度，尤其是“非典”后，我国政府制定并颁布了《全国危险废物和医疗废物处置设施建设规划》，该规划的颁布实施使我国的危险废物管理和处置工作步入了一个崭新的阶段。目前，规划已经实施六年，规划内的危险废物和医疗废物处置设施已经基本建设完成并将投入运行，随着技术的进步，对危险废物焚烧处置设施提出了许多新的要求，有必要通过《危险废物焚烧污染控制标准》的修订，加强危险废物焚烧污染控制能力，进一步完善我国危险废物环境管理体系，进而推进我国危险废物和医疗废物的可持续管理。

### **3.1.2 《国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》的有关要求**

《国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》提出要“加大持久性有机物、危险废物、危险化学品污染防治力度”。该纲要还提出要推进大宗工业固体废物和建筑、道路废弃物以及农林废物资源化利用，工业固体废物综合利用率达到 72%”。由此可见，危险废物和医

疗废物是我国固体废物污染防治工作的重要组成部分，其管理不能仅仅完成处置任务，而要兼顾处置过程中的环境安全和人体健康，严格控制二次污染物排放。

### 3.1.3 《国家环境保护“十二五”规划》的有关要求

《国家环境保护“十二五”规划》提出要加强危险废物污染防治。落实危险废物全过程管理制度，确定重点监管的危险废物产生单位清单，加强危险废物产生单位和经营单位规范化管理，杜绝危险废物非法转移。对企业自建的利用处置设施进行排查、评估，促进危险废物利用和处置产业化、专业化和规模化发展。控制危险废物填埋量。取缔废弃铅酸蓄电池非法加工利用设施。规范实验室等非工业源危险废物管理。加快推进历史堆存铬渣的安全处置，确保新增铬渣得到无害化利用处置。加强医疗废物全过程管理和无害化处置设施建设，因地制宜推进农村、乡镇和偏远地区医疗废物无害化管理，到2015年，基本实现地级以上城市医疗废物得到无害化处置。因此，危险废物环境管理作为我国环境管理的重点工作内容之一，为适应环保工作的历史性转变，有必要将其标准体系建设做为其管理及科技发展的必要保障和重要支撑，进而促进危险废物处置技术的升级和完善。

### 3.1.4 《“十二五”危险废物污染防治规划》的要求

《“十二五”危险废物污染防治规划》完善危险废物管理机制，提高技术支撑能力。各级环境监察部门将危险废物纳入日常监督管理的年度工作计划。各级固体废物管理技术支撑机构要积极开展危险废物基础调查工作，指导危险废物产生、利用、处置单位开展规范化管理工作。还要求依法整改、淘汰或者关停不符合有关标准规范和不能稳定达标的危险废物和医疗废物处置设施。因此，《危险废物焚烧污染控制标准》修订，对本规划执行和强化危险废物监管，具有重要的指导意义。

### 3.1.5 环保部门其他有关文件中有关本行业的要求

自《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（以下简称《固废法》）1996年4月1日正式实施以来，我国危险废物管理逐步步入法制轨道。《固废法》与之后陆续颁布的《危险废物经营许可证管理办法》、《国家危险废物名录》、《危险废物贮存污染控制标准》、《危险废物焚烧污染控制标准》、《危险废物填埋污染控制标准》，以及《危险废物集中焚烧处置工程建设技术规范》、《医疗废物集中处置技术规范》、《医疗废物集中焚烧处置工程建设技术规范》、《医疗废物焚烧炉技术要求》等基本形成我国危险废物环境管理的初步法律、法规、标准框架体系。规范了危险废物贮存、设施建设选址、设计与施工、废物包装及贮存、标签和标志、焚烧污染控制指标、残余物处置要求及污染控制、设施的安全防护及环境监测等要求。在整个管理体系中，《危险废物焚烧污染控制标准》作为起到承上启下作用的关键性管理性文件发挥着重要的作用。

## 3.2 国家相关产业政策及行业发展规划中的环保要求

### 3.2.1 行业发展规划

2003年，国务院颁布了《全国危险废物和医疗废物处置设施建设规划》，以防止废物危害和疾病传播、保护环境、保障人体健康为出发点，以相关环保、卫生标准为依据，以危险废物包括医疗废物和放射性废物集中处置设施建设为主要任务，对全国危险废物处置目标、原则、布局、规模、投资等进行了统筹规划。根据《规划》，全国将有31个省级危险废物集中处置中心和300个医疗废物集中处置中心，目前该规划内的全部建设项目已经基本处于建设、验收并将投入运行阶段。

### 3.2.2 行业产业政策

#### (1) 危险废物处置污染防治技术政策

2001年12月环保部颁布实施了《危险废物处置污染防治技术政策》。该政策是引导危险废物管理和处理处置技术的发展，促进社会和经济的可持续发展的技术依据。该技术政策适用于危险废物的产生、收集、运输、分类、检测、包装、综合利用、贮存和处理处置等全过程污染防治的技术选择，并指导相应设施的规划、立项、选址、设计、施工、运营和管理，引导相关产业的发展。

#### (2) 《关于实行危险废物处置收费制度促进危险废物处置产业化的通知》

2003年11月18日由国家发展改革委、国家环保总局、卫生部、财政部、建设部发布了《关于实行危险废物处置收费制度促进危险废物处置产业化的通知》，该通知是全面推进危险废物处置收费的基本依据，指出要全面推行危险废物处置收费制度，合理制定处置收费标准，制定科学合理的计收办法，加强收费管理，改革处置运行机制，促进危险废物处置产业化，医疗废物的处置收费也包含其中。

### 3.2.3 行业准入政策

《危险废物经营许可证管理办法》通常情况下，危险废物的处理、处置的管理工作应首先由政府制定废物处理、处置计划和方案，规划处理、处置设施的兴建和设施的设置地点、数量、规模、处理方法、环境保护措施等。然后由危险废物处置企业来具体处理、处置危险废物。一般情况下，应由专门的处理、处置机构处理危险废物，禁止废物产生者、所有者自行处理、处置。危险废物处理处置机构属于独立法人，不论何种性质、形式的危险废物处理、处置机构和设施均须获得许可。通过建立规范的危险废物经营许可证制度，明确危险废物处理处置单位在实施危险废物处理处置过程中应具备的基本条件，实现危险废物处置单位持证经营。

### 3.2.4 国家推行相关先进技术的指导性文件

危险废物的焚烧处置是近几十年发展起来的处置技术。虽然焚烧是个简单的化学反应过程，但危险废物的焚烧却涉及到物理化学变化、催化作用、空气动力学、热传递等等极其复

杂的过程。集中焚烧危险废物时，物料组成的多样性更决定了这些过程的复杂程度。在焚烧技术的发展过程中，焚烧工艺、焚烧炉的结构、焚烧过程的自动控制、二次污染的控制以及余热等利用技术日臻完善，现已成为较成熟的危险废物处理处置技术，尤其对于有毒有害有机废物，是一种必不可少的处置手段。但是，危险废物处置过程中的环境管理问题不容忽视。

为了推进该领域相关工作的开展，环境保护部科技标准司正在组织制定《医疗废物最佳可行技术导则》的编制工作，危险废物领域的最佳可行技术导则的编制的组织实施工作也在酝酿之中。通过该项目工作的开展，对于进一步明确危险废物焚烧处置过程中的环境污染问题，明确危险废物处置的最佳可行技术和最佳环境实践具有重要的指导意义。

### 3.3 行业发展带来的主要环境问题

危险废物焚烧处置作为危险废物处置的主要形式，在其推进危险废物减量化和无害化方面发挥着重要的作用，但是危险废物焚烧处置过程中产生的环境污染问题不容忽视，这也是世界各国不断推进立法，加强危险废物焚烧处置无害化管理的重要原因。在危险废物焚烧处置过程中，国内外生产的危险废物焚烧处置设施都配备了较为完善的尾气处理装置和污染控制系统，并通过自动化控制，实现危险废物焚烧处置过程安全管理。但是，焚烧处置技术应用和管理不当，会对人体健康和周围环境带来潜在风险，如会产生二噁英、酸性气体和重金属等大气污染物质。

### 3.4 行业清洁生产工艺和污染防治技术的最新进展

采用焚烧处置技术处置危险废物不仅要综合考虑危险废物的处理类型、有害成分破坏率、技术可靠性、自动化水平、环境排放物和环境影响、职业安全与健康等基本因素，还要考虑政策法规的认可程度、公众的接受程度、处置空间的要求和选址、配套公共设施及安装要求等基础因素，以便确保焚烧处置技术应用的实效性。焚烧处置技术对高浓度和低浓度的 POPs 废物，固态、液态和气态的均适用。根据其炉型不同配置有所差异。其系统配置和单元设计内容包括：

#### (1) 主体设施

- 预处理系统与进料系统
- 焚烧炉(主焚烧炉和二次炉)
- 余热锅炉
- 气体净化单元(紧急安全烟囱、排空控制、主烟囱)
- 残渣处理单元
- 控制和监测系统

#### (2) 附属设施

- 接收单元：废物计量设施
- 暂存单元

➤ 分析单元

### (3) 配套设施

➤ 电气系统

➤ 给水、排水和消防系统

➤ 建筑与机构

➤ 采暖通风与空调

➤ 其它辅助设施

另外，对于一个特定的焚烧系统而言，一定要具备如下条件：

(1) 配备完整的废物上料系统(可适应液体、固体等物料)并具有物料配伍能力；

(2) 具有严格控制一燃室热解温度的能力；

(3) 具有保证二燃室内焚烧温度大于法定温度的能力；

(4) 具有确保灰渣热灼减率达标和进一步提高的能力；

(5) 具有防止尾部受热面结灰和清灰措施。

尤其是随着中国履约进程的加快，二噁英污染控制技术呈现出日新月异的发展趋势，如选择性催化还原以及传统的活性炭+布袋+急冷的处理设施等。另外，为了推进危险废物处置过程的无害化管理，还需要在处置设施运行以及源头分类管理等方面加强管理，旨在中国技术和管理两方面实现污染物达标排放。

## 3.5 现行危险废物焚烧污染控制标准存在问题分析

《危险废物焚烧污染控制标准》(GB18484-2001)在近五年的实施过程中，随着社会的进步及国际环境管理和科技水平的提高，在污染物排放限制、标准规定内容的深度及层次以及规定内容方面都急需进行调整和完善，以便更好的适应我国在危险废物环境管理和履行国际公约方面的实际需求。危险废物焚烧是产生二噁英等空气污染物的重要来源，无论从中国履约角度，还是从推进我国危险废物环境管理角度，加严和调整部分污染物排放限值已经成为社会发展的必然选择。随着社会的发展，对环境标准的制定、修订和实施提出了更加严格的要求，标准不仅要提出具体的标准限值，还要从环境管理的角度对实现标准限值所必备的管理和技术要求进行规定，以保持标准实施的科学性和完整性。现行危险废物污染控制标准存在问题表现在以下几个方面：

第一，焚烧排放污染物项目及排放限值的问题。随着经济和技术水平提高，尤其是我国签署斯德哥尔摩公约以后，我国现行的标准在焚烧污染物排放限值、防护距离等规定上与其它发达国家存在差距，也与公约要求存在差距，如焚烧烟气的二噁英排放标准，国际上普遍采用了 POPs 公约要求的  $0.1\text{TEQng/Nm}^3$  排放指标。

第二，处置技术及设施运行参数调整问题。随着技术的不断进步，相关的工艺参数及污染控制手段不断得到更新和完善，致使现行标准实施环节存在着技术更新和管理相脱节的现

象，相关规定有待在本标准修订中予以明确。

第三，与现行其他法律、法规、标准不协调、不系统的问题。由于我国目前的各项具体的危险废物管理政策、法规及标准制订的时间有先有后，且除国家层面出台的部分外，各相关部委又分别制订颁布了各项相关的政策、规定及标准规范。因此，现行的危险废物标准与法律体系的协调性、系统性存在较多的问题。有的部分内容不相容，有些应衔接的内容不衔接，有些新文件包括的内容而有不一致的相同部分的旧文件却仍继续有效。

修订本标准主要任务是解决本标准与现行法律法规不协调、不统一的问题，并进一步科学合理的规定污染控制因子和排放限值，使之与危险废物管理和处置发展形势相适应。其立足点是充分借鉴国外经验，科学分析污染控制技术，紧密结合我国国情，核心目标是通过加强我国危险废物焚烧污染控制的同时提高我国危险废物整体管理水平。

## 4 危险废物焚烧处置技术及污染控制技术分析

焚烧指燃烧危险废物使之分解并无害化的过程，焚烧是一种高温热处理技术，是一种有利于废物的最终安全处置，可同时实现废物无害化、减量化、资源化的最有效的处置技术。焚烧炉指焚烧危险废物的主体装置。焚烧能力是以焚烧量表示的，是焚烧炉每小时焚烧危险废物的质量。焚烧过程中也会产生焚烧残余物，包括焚烧危险废物产生的飞灰、残渣及经尾气净化装置产生的固态物质。焚烧的主要目的是尽可能焚毁废物，使被焚烧的物质变为无害和最大限度减少容积，并尽量减少新的污染物质产生，避免造成二次污染。

### 4.1 危险废物焚烧处置技术分类

焚烧时以处置有机成份多、热值高的废物。目前，适用范围最广泛的两种焚烧炉是用以燃烧城市生活垃圾和工业废物的焚烧炉，如果对工业焚烧炉适当地进行设计和装备，它能够处理各种危险废物，其他具有代表性的焚烧炉有固定床焚烧炉，用于处理淤泥、糊状物和桶装物质，多床焚烧炉主要用于处理淤泥，流动床焚烧炉用于处理淤泥和酸性物质。除专门建设废物焚烧处理装置外，一些国家还在利用不同形式的工业炉窑处理可燃性有害废物，把废物看成工业生产所必需的燃料来源，用可燃性有害废物作水泥窑替代燃料。可以用于处理工业危险废物的焚烧炉主要有：回转窑焚烧炉、液体喷射焚烧炉、热结焚烧炉、流化床焚烧炉、多层焚烧炉等，采用较多的是回转窑焚烧炉。危险废物焚烧炉型及标准运转范围如表 4-1 所示，焚烧炉的处理对象如表 4-2 所示。

表 4-1 危险废物焚烧炉型及标准运转范围

炉型	温度范围/℃	停留时间	炉型	温度范围/℃	停留时间
回转窑	820-1600	液体及气体：1-3s 固体：30min-2h	多层床焚烧炉	干燥区：320-540 焚烧区：760-980	固体：0.25-1.5h
液体注	650-1600	0.1 至 2s	固定床焚烧	480-820	液体及气体：

射炉			炉		1-2s 固体: 30min-2h
流化床	450-980	液体及气体: 1-2s 固体: 10min-1h			

表 4-2 焚烧炉的处理对象

废物种类	回转窑	液体注射炉	流动床	多层炉	固定床焚烧炉
1. 固体					
(1) 粒状物质	√			√	
(2) 低熔点物质	√		√	√	√
(3) 含熔融灰分的有机物	√	√	√	√	√
(4) 大形、不规则物品	√				
2. 气体					
有机蒸气	√	√	√	√	√
3. 液体					
(1) 含有毒成分的高有机废液	√	√	√		
(2) 一般有机液体	√	√	√		
4. 其他					
(1) 含氯化有机物的废物	√	√			
(2) 高水分之有机污泥	√		√	√	

由表 4-1 和表 4-2 可以分析得出, 回转窑焚烧炉可同时处理固、液、气态危险废物, 除了重金属、水或无机化合物含量高的不可燃物外, 各种不同物态(固体、液体、污泥等)及形状(颗粒、粉状、块状及桶状)的可燃性固体废物皆可送入回转窑中焚烧。

目前, 我国用于危险废物处置的焚烧炉主要有回转窑焚烧炉和液体喷射焚烧炉, 其次是热解焚烧炉、多层床焚烧炉和流化床焚烧炉等。近年来我国建设的危险废物焚烧处置设施多采用回转窑焚烧炉和液体喷射焚烧炉, 而对于医疗废物焚烧着多采用国产热解焚烧炉。

#### 4.1.1 回转窑焚烧炉

##### (1) 基本原理

回转窑焚烧炉是一个略为倾斜而内敷耐火砖的钢制空心圆筒, 最早是用来制造水泥、石灰、铁矿砂、焦炭等固体物质的主要设备, 后来逐渐被应用于工业废物的焚烧处置上, 由于其能够有效地处理各种不同物态(固体、液体、污泥等)的废物, 已经被各国普遍采用。

一般回转窑焚烧炉在回转窑后端装置一个二次燃烧室, 以确保燃烧完全。回转窑本身是用来沸化氧化废物中的可燃物, 废物中的惰性固体则随着回转窑的转动向另一端移动, 然后由底部排出。沸化的蒸气及燃烧气体经过回转窑后端, 进入二次燃烧室在高温下再进行氧化。回转窑和二次燃烧室都具有助燃器以维持炉内温度稳定。

##### (2) 优缺点分析

###### ① 优点

可以将危险废物直接送入窑内处理; 窑内气体湍流程度高, 气、固接触良好; 窑内无移动的机械组件, 保养容易; 窑内固体停留时间可以由转速的调整而控制; 温度可高达 1200

℃以上，可以有效焚毁任何有毒有害物质。

#### ②缺点

投资成本高；运转时必须小心，耐火砖维护费用高；球状及桶装物体可能会快速滚出窑外，无法完全焚烧；过剩空气需求高，排气中粉尘含量高；热效率低。

### (3)主要影响因素

#### ①温度

回转窑内的气体温度通常维持在 550-650℃之间，如果温度过高，窑内固体容易熔融，温度太低，反应速率慢，燃烧不易完全。二次燃烧室气体的温度则维持在 1100℃以上，但是不宜超过 1200℃，以免过量的氮氧化物 NO<sub>x</sub> 产生。

#### ②过剩空气量

回转窑中过剩空气量通常维持在 100%-150%之间，以促进固体可燃物与氧气的接触。二次燃烧室的过剩空气量约为 80%。

#### ③停留时间

一般回转窑的二次燃烧室体积以 2s 的气体停留时间为基准而设计的，足够的废物停留时间是完全焚烧的必要条件之一。

#### ④回转窑的长度、转速及倾斜度的互相配合

回转窑的长度、转速及倾斜度必须互相配合以达到废物停留时间的需求，一般回转窑焚烧炉的转速在 1-5r/min 之间，L/D 为 2-5，倾斜度约为 1° -2°，停留时间为 30min-1h。

#### ⑤回转窑内气、固体的混合

回转窑转速是决定气、固混合的主要因素。转速增加时，离心力也随之增加，同时固体在窑内搅动及抛掷程度加大，固体和气体的接触面及机会也跟着增加。反之，则下层的固体和氧气的接触机会小，反应速率及效率降低。转速过大固然可加速焚烧，但粉状物、粉尘易被气体带出，排气处理的设备容量必须增加，投资费用也随之增高。

#### ⑥二次燃烧室内的气体混合

二次燃烧室内氧气和可燃性有机蒸气的混合程度取决于燃烧产物与二次空气的相互流动方式及气体的湍流程度。一般而言，二次燃烧室的气体速度在 3-7m/s 之间，如果气体流速太大，气体在二次燃烧室的停留时间减少，反应不易进行完全。

## 4.1.2 热解焚烧炉

### (1)基本原理

热解和燃烧的相同点是都是热化学转换过程(Thermal Conversion Technologies)，不同处是热解是吸热反应，而焚烧是发热反应。两者的反应产物也不一样。焚烧(Combustion)最终生产 CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>O；而热解(Pyrolysis Gasification)产生的是 H<sub>2</sub>、CO、CH<sub>4</sub> 等可燃低分子量化合物，还包括 CH<sub>3</sub>COOH、CH<sub>3</sub>COCH<sub>3</sub>、CH<sub>3</sub>OH 为主的燃料油及炭黑。



## (2) 优缺点分析

### ① 优点

设备投资、维护费用低，能耗和运行成本相对其他方式经济；烟气量少（只有过氧燃烧的 1/3-1/5），粉尘量少（只有回转窑的 1/20），产生的  $\text{NO}_x$ 、 $\text{SO}_x$ 、 $\text{HCl}$  相对很少，对环境更加友好。尾气处理方法得当，达标排放容易实现；废物中的 S 或其他金属大部分包融在炭黑中，无金属溢出；热解反应是在还原气氛中实现， $\text{Cr}^{3+}$  不会转化成  $\text{Cr}^{6+}$ ；对处理废物的适用范围较广；减容率高，炉渣中无腐败物，便于卫生填埋。

### ② 缺点

从系统角度来讲，热解并不能消除污染问题，仅仅是将固体污染转化成气体污染。热解工艺对废物的热值要求较高；对炉膛的耐火、保温、隔热材料要求高，需充分考虑材料的抗裂、抗震和抗热应变；系统工艺上的防爆和设备的泄爆；相对其他炉型，热解炉的处理时间稍长，粉尘颗粒较粗。热解焚烧技术的难点是如何避免热解产气过程、焚烧过程相互干扰，确保相对分离、稳定产气、稳定燃烧，并通过良好的自控提高技术设备对医疗废物进料性质和数量的变化的适应性。许多技术设备的好坏需要与具体项目运营效果相吻合，不少热解焚烧技术在实际运营中明显偏离热解焚烧原理和原设定的最佳控制点，一方面有运营问题，但更重要的实际上是技术设备自控和适应性不够。

## 4.1.3 流化床焚烧炉

### (1) 基本原理

流化床焚烧炉多用于处理有机废液、黑液及下水道污泥等废物。废液及污泥可直接喷入炉内焚烧，固体废物必须先经破碎、切割至直径小于 2-3cm 小块后，才可送入炉中。含钠、钾等碱金属盐类及低熔点物质高的废物不宜送入炉中处理，以免熔融物质附着炉壁，产生过热现象，或形成大块物体，累积于炉底，产生沟渠状的空气通道，妨碍燃烧反应的进行。流化床分为气泡式和循环式两种。气泡式炉早已普遍使用，而循环式炉的发展较迟，目前仅限于小量废物处理。

流化床炉内由于空气带动，固体不停地翻滚或流动，气体和固体燃料或废物接触面积大，传热效率高，温度分配非常平均，不仅可以完全燃烧，所需焚烧销毁的温度也可适当降低。炉内温度通常控制在  $850^\circ\text{C}$  左右，但是也有些流化床是在  $600^\circ\text{C}$  左右运转的。

#### ① 气泡式流化床

气泡式流化床焚烧炉具有一个直立长方式或圆筒形燃烧室，燃烧室内充满粒状惰性固体，以作为传热介质并维持固体存量的稳定（砂为最常用的介质）。空气由床底的分配器平均进入炉内，当空气速度高于固体最低流动速度时，固体床会悬浮起来，由于空气通过固体床时产生气泡，所以此类设计被称为气泡式。

#### ② 循环式流化床

是利用高速空气带动固体物质在燃烧回路中循环反应。空气速度在 3.5-15m/s 之间。在这种速度下，几乎所有粒状固体物质可被气体带走。由于搅拌程度高，空气与固体物质接触面积大，相互混合程度佳，传热速率及燃烧速率较气泡式炉快。循环床炉适合于被有机物污染的土壤等粒状物质的焚烧。

## (2) 优缺点

### ① 优点

燃烧室构造简单，内部没有移动的机械组件，维护费用低；燃烧效率高，单位体积的放热速率大，为其他焚烧炉的 5-10 倍；温度较低，过剩空气量小，燃料费用低；排气量较少，氮氧化物含量低，不需酸气去除洗涤塔，因此排气处理投资低；炉内温度分配均匀，炉内保持固定的热容量，所以进料变化的影响小；废物中的卤素及硫分可以直接喷入炉内中矛口。

### ② 缺点

流化床焚烧炉处理危险废物的缺点是仅能直接处理液态、污泥或粒状固体物，块状及大形固体必须经过前处理；控制系统复杂，运转时必须小心，以维持炉压、温度的分配，灰渣排除及固体进料关到易受堵塞，运转费高；排气中粉尘含量高。

## 4.2 我国危险废物/医疗废物焚烧设备应用状况

我国危险废物/医疗废物的焚烧技术开始于 80 年代末期，近年来焚烧技术得到了快速发展，已开发出热解-氧化焚烧技术、回转窑焚烧技术等，并获得了成功的应用，为《规划》的实施奠定了良好的基础。但从整体上来看，虽然目前我国危险废物/医疗废物焚烧炉生产厂家约有 40 余家，但产品性能符合标准的不多，设备配置不完善，在自动进料、焚烧、尾气处理、自动控制等方面与规划实施的要求还有较大的差距，而且这些企业规模小、经验不足，一旦全国普遍建设危险废物和医疗废物处置设施，国内装备在技术和供货能力上都很难满足要求。

由于我国在危险废物/医疗废物处置方面的工作开展得比较晚，虽然已经颁发了一系列的法规标准，但还不完善，缺乏对危险废物/医疗废物焚烧设备统一的产品认定及评判标准，致使目前危险废物/医疗废物焚烧设备的产品市场比较混乱，设备水平参差不齐。另外危险废物/医疗废物的安全处置对很多人来说还是一件较新的工作，对危险废物和医疗废物处置设施建设的要求了解还不是很透彻，如设备配置、建设投资、运行成本等，加上又面临着混乱的市场，极易使人迷失方向。如果不改变这种状况，任其发展，将会建成很多不合格的工程，不仅浪费大量国家投资，而且会带来严重的二次污染，给社会造成巨大的潜在危害。

### 4.2.1 生产企业情况

我国危险废物/医疗废物的焚烧技术开始于 80 年代末期，目前生产厂家已经约有 40 余家，其中北京机电院、沈阳环境科学研究院等少数几家单位最先开始从事危险废物/医疗废物的焚烧技术研究及设备制造，开发了自己的专有技术，并获得了成功的应用，经过多年的

不断完善相对比较成熟。近几年又有 30 多家企业开始从事危险废物/医疗废物焚烧设备的制造，其中少数几家做的比较好，获得了快速的发展，如福建丰泉、上海万强、深圳汉氏等，国内焚烧炉生产企业状况如表 4-3 所示。

表 4-3 国内焚烧炉生产企业名单

序号	企业	焚烧炉性
1	北京机电研究院	小型立式直燃炉 回转窑焚烧炉 运动炉排炉
2	重庆中天环保集团有限公司	回转窑熔渣炉
3	深圳汉氏固体废物处理有限公司	立式旋转气化焚烧炉
4	杭州大地维康有限公司	组合式医用焚烧炉
5	沈阳环境科学研究院	热解氧化焚烧炉 回转窑焚烧炉
6	北京发景绿色环保工程公司	在燃式悬浮燃烧焚烧炉、固定炉排炉
7	广州市通用新产品开发有限公司	气化焚烧炉 炉排炉
8	贵州航发环保机械工程有限公司	链条炉排炉
9	山东鲁丰环保科技有限公司	热解气化焚烧炉 炉排炉
10	上海万强科技开发公司	干馏气化焚烧炉
11	福建丰泉环保集团有限公司	热解气化焚烧炉 炉排炉
12	清华紫光泰和通环保技术有限公司	立式气化焚烧炉 旋转气化焚烧炉
13	北京中晟泰科环境科技发展责任有限公司	回转窑
14	清华同方股份有限公司	回转窑
15	青岛元宏环保科技有限公司	热解焚烧炉
16	贵州航空有限责任公司	小型简易焚烧炉
17	宜兴福鼎公司	小型简易焚烧炉
18	贵州长城环保科技有限公司	小型简易焚烧炉
19	宜兴市夫风镇金鑫环保设备厂	小型简易焚烧炉
20	广东省顺德市顺环市政工程设备有限公司	小型简易焚烧炉
21	北京北锅恒轮能源设备制造有限公司	回转炉、炉排炉
22	浙江湖州星丰工贸有限公司	炉排炉
23	常熟重型机械制造有限公司	回转窑
24	哈尔滨龙铁环保设备厂	炉排炉
25	北京悟能科技有限公司	立式炉
26	鞍山焦炭院	回转窑
27	宜兴恒贸环保设备制造厂	简易焚烧炉
28	清华永新双益环保有限公司	小型简易焚烧炉
29	上海天美科学仪器有限公司	小型简易焚烧炉
30	江苏省宜兴市吉隆环境设备厂	小型简易焚烧炉

序号	企业	焚烧炉性
31	湖北省大自然环保设备有限公司	小型简易焚烧炉
32	上海欣润公司	翻转炉排炉
33	宜兴市绿景焚烧炉设备有限公司	小型简易焚烧炉
34	江苏全能机械设备厂	固定炉排炉
35	东宇环境设备有限公司	固定床、活动炉排、流化床、回转窑
36	中山凯德环保设备厂	热解焚烧炉
37	中加合资无锡天康环保设备有限公司	小型简易焚烧炉
38	中宜环能环保技术有限公司	小型简易焚烧炉
39	广东省博罗九能高新技术工程有限公司	小型简易焚烧炉
40	新泰市青云环保高新技术开发有限公司	小型简易焚烧炉
41	清华紫光环保有限公司	炉排炉
42	山东新华医疗器械有限公司	固定炉排
43	北京钠诺环境工程有限责任公司	双段链条炉排
44	青岛远大环保设备公司	小型再燃焚烧炉

#### 4.2.2 产品生产及使用情况

目前国内生产的危险废物/医疗废物焚烧设备，已经具备了一定的基础，但从整体上看，大多数产品技术水平低、设备配置不完善，还不能满足技术要求。目前现有设备从炉型上看大致主要分为回转窑、热解气化炉、炉排炉(贵州航发、北京发景等)、小型简易焚烧炉(宜兴福鼎、哈尔滨龙铁环保设备厂等)等几种，但是炉排炉、小型简易焚烧炉很难满足要求。目前生产回转窑的厂家主要有北京机电院、重庆中天环保等，生产热解气化炉的厂家主要有深圳汉氏、上海万强等，这些产品在技术应用方面相对成熟。从产品使用情况来看，国内危险废物/医疗废物焚烧设备的使用大致可分为四个阶段。第一阶段为早期使用，这一时期国家的法规、标准还不完善，危险废物焚烧炉多为石油、化工企业所用，这些焚烧炉大部分比较落后，设备缺少完善的尾气净化系统，焚烧温度也难以达到要求；医疗废物焚烧炉多为医院所采用，这些焚烧炉大多采用简易焚烧炉，规模小、工艺落后、设备制造简陋、炉型设计不能适应医疗废物特征，没有烟气净化装置，再加上焚烧温度过低，间断运行，二次污染十分严重。第二阶段为集中处置设施建设阶段，这一时期随着《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》、《国家危险废物名录》、《危险废物污染防治技术政策》、《危险废物焚烧污染控制标准》等法规、标准的颁布，一些城市也开始危险废物集中处置设施的建设，如沈阳环境科学研究院在“八五”环保科技攻关基础上，建设了“沈阳市危险废物焚烧示范工程”，日处理能力30t/d；近年来，北京、广州、南通等地建设了企业化运作的危险废物焚烧厂。这些焚烧炉多为回转窑，技术指标先进，系统配置也比较完善。另外沈阳、太原等地还建设了医疗废物集中焚烧处置厂。第三阶段为非典时期，这一时期由于预防非典的需要，很多城市/医院匆忙建了一大批医疗废物焚烧炉，这些设备大多性能不过关、配置不完善，与目前新的标准要求还有很大差距，这些设备还需要通过技术评估改建或重建才能继续使用。第四阶

段为《规划》实施阶段，这一阶段国家已颁布了较为详细的法规、标准，伴随“规划”的全面实施，我国将在沈阳、天津、上海、深圳等先行建设的大型焚烧设施的基础上，越来越多的危险废物焚烧处置设施逐步运行投产。各级段主要产品应用状况如表 4-4 所示。

表 4-4 各阶段主要产品应用状况表

时期	炉子名称	处理对象	技术设施	设施所有者
第一阶段	污泥焚烧炉	污泥 2000-5000kg/h	回转窑，配套设施不完善	吉化公司污水处理厂
	废气、废液焚烧炉	乙晴、丙烯酸等废液 5608kg/h	立式圆筒，配套设施不完善	上海石化总厂
	固体废渣焚烧炉	废渣 75kg/h	卧式箱型，配套设施不完善	兰化公司
	医院焚烧炉	医疗废物	简易焚烧炉，没有尾气处理	中国人民解放军 253 医院
	医院焚烧炉	医疗废物 60kg/h	HYF 型简易焚烧炉，没有尾气处理	山西省人民医院
第二阶段	沈阳市危险废物焚烧示范工程	PCBs 15t/d 危险废物 15t/d	回转窑，配套设施较为完善	沈阳环境科学研究院
	北京永乐废弃物焚烧处置中心	废树脂、废药物等 500kg/h	回转窑，配套设施较为完善	北京永乐废弃物焚烧处置中心
	太原市医疗废物集中处置厂	医疗废物	立式旋转热解炉，配套设施较为完善	
	沈阳市医疗废物集中处置厂	医疗废物	热解氧化焚烧炉，配套设施不完善	沈阳市固体废物处置厂
第三阶段	医疗废物焚烧炉	医疗废物	简易焚烧炉，配套设施不完善	北京市防非典医院
	内蒙乌海医疗废物焚烧炉	医疗废物	简易焚烧炉，配套设施不完善	内蒙乌海
	内蒙锡林郭勒盟医疗废物焚烧炉	医疗废物	简易焚烧炉，配套设施不完善	内蒙锡林郭勒盟
第四阶段	基于规划所提供的技术和经济支持，技术得到提升，处置设施建设及运行呈现其良好态势，在数量、规模以及技术应用等方面获得较大的提升，这里不再赘述。			

### 4.3 污染控制技术分析

危险废物焚烧污染防治的重点在烟气的处理上，危险废物焚烧设备是一个复杂的系统，因此危险废物焚烧中的污染控制是一个系统工程，它涉及整个系统的方方面面，是各个子系统优化和整合的过程。这个过程主要是通过编写废物焚烧计划和实施自动控制来完成的，危险废物焚烧中污染防治过程控制如图 4-1 所示。

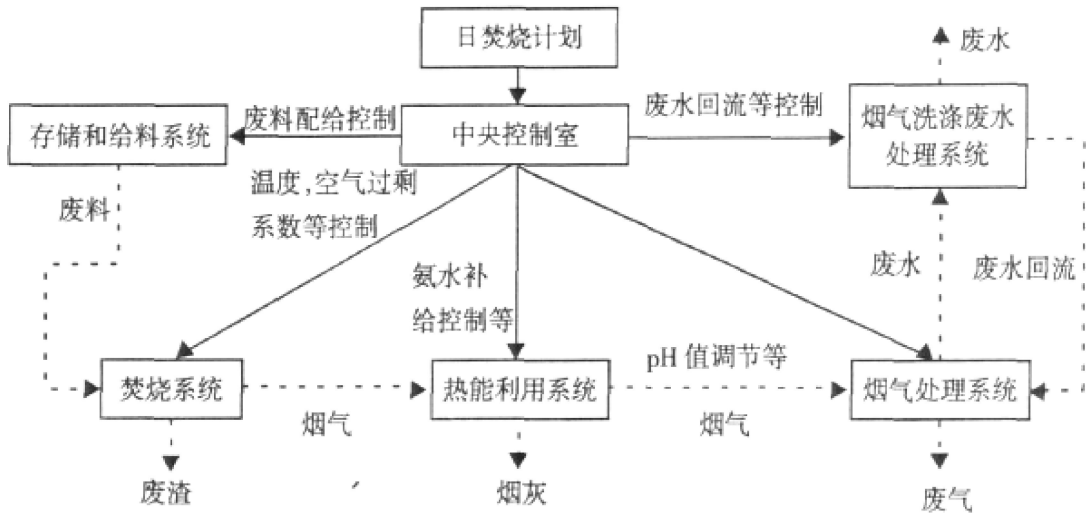


图 4-1 危险废物焚烧中污染防治过程控制示意图

#### 4.3.1 危险废物处置计划编制

编写危险废物日焚烧计划是危险废物焚烧污染防治控制的重要环节。根据危险废物的有害成分的含量和热值并综合考虑焚烧炉和后燃室热容限值等因素，利用危险废物焚烧设备废气排放许可浓度限值反推不同废物的送料配比和送料总量。

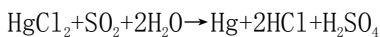
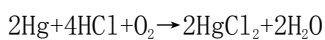
制定焚烧计划时要着重考虑不同废物在焚烧过程中的相互影响。研究表明，在焚烧过程中有些废物之间存在明显的相互影响。不同废物焚烧时的相互影响关系如表 4-5 所示。

表 4-5 不同废物在焚烧时的相互影响关系

废物类型	卤代烃废物	含硫废物	含汞废物	含氰化物废物	亚硝酸盐废液	氨水	含碘-溴废物	含氯废液
卤代烃废物		+	×	×	×	×	-	×
含硫废物	-		×	-	-	-	-	-
含汞废物	×	×		-	-	-	×	-
含氰化物废物	×	-	-		0	0	×	0
亚硝酸盐废液	×	-	-	0		0	×	0
氨水	×	-	-	0	0		×	0
含碘-溴废物	-	+	×	×	×	×		×
含氯废液	×	-	0	0	0	0	×	

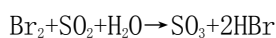
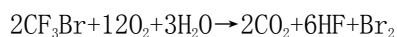
注：+：在一起焚烧效果更好；-：可以在一起焚烧；×：不能在一起焚烧；0：之间没有影响。

在编制日焚烧计划时，尽量避免把不能在一起焚烧的废物放在一起焚烧，如含氰化物废物不与含硫废物在一起焚烧，这是因为：



烟气中汞以  $\text{Hg}^{2+}$ 、 $\text{Hg}^+$  和  $\text{Hg}^0$  三种形式存在  $\text{HgCl}_2$  溶于水，而单汞和  $\text{HgCl}_2$  很难溶于水，很难通过湿式除尘去除。

在焚烧卤代烃废物时，要相应增加含硫废物的焚烧量，焚烧含氯废物时也要相应增加含硫废物的焚烧量，这是因为：



二氧化硫和溴气都难溶于水，不易通过水洗除去，而三氧化硫则很容易溶于水，可以通过水洗从烟尘中除去。因此含氯废物和含硫废物在一起焚烧会减少二氧化硫和溴气的产生，从而保证废气的达标排放。

#### 4.3.2 焚烧系统的污染控制措施

危险废物焚烧过程主要影响因素是所谓的“3T+E”，即炉温(Temperature)、停留时间(time)、搅动现象(Turbulence)和空气供应量(Excess air)，其中停留时间和搅动现象主要与设计有关(特别是后燃室的形状大小)，因此焚烧系统中需要控制的两个主要因子：温度和空气供给量。焚烧过程中保持 950℃ 以上的高温，有利于二噁英和其他有害物质的完全分解，同时能保证锅炉中的温度在 900℃ 以上，有利于在热能利用系统中把烟气中氮氧化物通过无触媒氧化去除。保证一定程度过量空气(空气过剩系数>1.1)的供给，使烟气中一氧化碳的浓度保持在较低水平，一方面可以避免在还原条件下烟气中二噁英的重新合成，另一方面保证电除尘器的安全(当空气中一氧化碳浓度达到程度时，在电火花的作用下会产生爆炸)；后燃室中烟气 O<sub>2</sub> 含量要保证大于 6%，一般在 7%-8% 之间。同时保证出炉废渣的灼减量低于 5%，以避免危险废物因不完全燃烧而对环境造成二次污染。

#### 4.3.3 热能利用系统中的污染控制

烟气处理前氮氧化物含量较高，变化范围在 100-800mg/m<sup>3</sup> 之间。而烟气中氮氧化物的去除是一个难点。氮氧化物的去除有两种方法：触媒氧化和无触媒氧化。无触媒氧化比触媒氧化成本低，但氮氧化物去除率低于触媒氧化，一般在 60% 左右。部分系统采用无触媒氧化的方法来除去烟气中的氮氧化物。在锅炉的前端部分(靠近后燃室部分)温度一般在 900℃ 左右，因此在锅炉前端加入氨水，可除去氮氧化物。中央控制室根据烟气在线监测氮氧化物的浓度结果，调整氨水的供给量，以确保废气排放中氮氧化物的浓度低于排放限值。通过氧化还原反应去除氮氧化物的基本原理为：在高温下，氮氧化物和氨水反应生成氮气和水。

#### 4.3.4 烟气处理系统中的污染控制

烟气净化过程较为复杂，涉及到脱酸、除尘等过程。

半干法净化工艺包括半干式洗气塔、活性炭喷射、布袋除尘器等处理单元。采用该工艺时反应器内的烟气停留时间应满足烟气与中和剂充分反应的要求；反应器出口的烟气温度应在 130℃ 以上，保证在后续管路和设备中的烟气不结露。湿法净化工艺包括骤冷洗涤吸收塔(填料塔、筛板塔)等单元，一般来说，当废物含氟较高或含氯量大于 5% 必须采用该种净化

方式，并必须配备废水处理设施去除重金属和有机物等有害物质。

烟气净化系统的除尘设备对所有焚烧炉的运行来说都是非常关键的。除尘器按净化机理可分为机械式除尘器、湿式除尘器、袋式除尘器、静电除尘器。焚烧炉除尘装置应选用袋式除尘器，我国推荐采用布袋除尘器，袋式除尘器适用于清除粒径  $0.1\ \mu\text{m}$  以上的尘粒，除尘效率达 99%；如果选择湿式除尘装置，必须配备完整的废水处理设施。

另外，焚烧系统产生的炉渣量约为危险废物焚烧量的 20%–25%，炉渣装袋后送危险废物填埋场填埋处理。锅炉烟灰也为危险废物，装袋密封后送危险废物填埋场处理。湿式除尘产生的废水大部分被循环利用，少部分则进入废水处理专门设备进行处理。洗脱废水经 pH 调节、絮凝沉淀、分离后排放，部分经活性炭吸附(如果不能满足排放要求的话)后在排放。袋式除尘器弃用的部分活性炭为危险废物，可通过袋装作危险废物填埋或回炉焚烧处理。

## 5 危险废物焚烧处置设施排放污染物环境影响分析

危险废物焚烧是指高温燃烧危险废物使之分解并无害化的过程，是一种高温热处理技术，是我国危险废物处置的主要方式之一。危险废物再焚烧过程中会产生一些污染物，可能会对环境产生二次污染。

### 5.1 焚烧污染物的产生

进入焚烧炉的废物经过燃烧后，大部分可燃性物质被转化成气态物质从而实现废物减容目的，这些气态物质从焚烧炉排出时往往夹杂着飞灰、飘尘等固态物质。由焚烧炉排出的废气必须经过严格的后续处理后才能安全排放到环境中。废气中所含污染物质的成分和含量与所焚烧废物的成分、焚烧效率、焚烧炉型、焚烧条件、废物进料方式有密切关系，主要由以下污染物质组成：

(1) 不完全燃烧产物：废物中碳氢化合物。燃烧后主要的产物为无害的水蒸气和二氧化碳，可以直接排入大气中；但由于缺氧或停留时间不足等原因造成部分碳氢化合物不能按设计要求达到完全燃烧从而生成不完全燃烧产物，包括一氧化碳、炭黑、烃、烯、酮、醇、有机酸以及聚合物等。

(2) 飞灰、飘尘：燃烧过程中由于助燃空气的鼓入以及扰动等影响致使部分粒度较小的固体物质如灰分、无机盐类颗粒、可凝结的气态污染物质、炭黑等随烟气一起进入后续烟气处理设施。

(3) 金属粒子及其化合物：焚烧炉的高温条件致使部分重金属如铅(Pb)、汞(Hg)、铬(Cr)、镉(Cd)、砷(As)等的元素态、氧化物、氯化物等蒸发进入烟气中，遇到烟道的较冷部分就凝结成一种亚微米颗粒的悬浮物。

(4) 酸性气体：在燃烧过程中废物所含的卤素、硫、磷等物质发生氧化还原反应生成相应的酸性气体，包括卤化氢、硫氧化物、氮氧化物以及五氧化磷和磷酸等；同时，助燃空气



中的氮气和氧气在适当的热力条件下也可以生成酸性气体氮氧化物(NO<sub>x</sub>)。

(5)二噁英类有机物:含有有机物的废物进行燃烧时都有生成二噁英类毒性物质的可能,特别是燃烧废物含有PCBs、氯乙烯等物以及含有铜、铁等化合物的催化作用下,生成二噁英类物质的可能性大大增大。

## 5.2 主要生产工艺及产污分析

危险废物的焚烧处置技术在现阶段主要用于处理危险废物、医疗废物和PCBs等可在高温下分解的无机危险废物。危险废物的种类繁多,性质和成分各异,适合焚烧处置的危险废物也多种多样,如有机性污泥、含氰化物废物、含汞废物、含酚废物、含多环芳烃废物、废油、油乳液和油混合物、油脂和蜡废物、废塑料、废橡胶和乳胶废物、废溶剂、含农药废物、制药废物、精炼废物(如酸焦油、焦油渣和底物)、含卤素、硫磷、PCBs及二噁英废物、医院临床废物、被有害化学物质污染的固体物质(如含油土壤和PCBs电容器等)和受有害化学物污染的高浓度有机废水等等。在上述危险废物中除主要含碳和氢元素外,也不同程度地含有氮、磷、硫、卤素和金属等有害元素,如表5-1所示。

表 5-1 一些危险废物的成分分析值(%)

危险废物	水分	灰分	可燃成分	C	H	O	N	S
废油	0.0	60.0	40.0	55.0	7.0	35.0	1.0	0.5
废油类	50	1	49	88.0	10.0	0.0	0.0	1.0
油泥	30	20	50	88.0	10.0	0.0	0.0	1.0
污泥	85	7.5	7.5	50.5	6.2	36.1	5.5	1.2
污泥	70.0	19.0	11.0	55.1	5.6	37.1	1.1	1.1
废溶剂	0.1	0.0	99.9	89.9	9.1	0.1	0.0	0.0
废液	93	5	2	85	10.0	2.0	1.0	1.0
废塑料	2	2	96	75	9.0	7.5	5.0	0.5

注:元素分析值是以可燃成分为100%换算的值。

在焚烧过程中,危险废物被转变成简单成分的气体、烟粉尘、焚烧副产物和燃烧残渣。产生的气体主要含有CO<sub>2</sub>、水蒸气和过量的空气,而有害元素则转变为NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>、HCl以及可挥发的金属及其化合物,同时也可能含有极少量的未燃成分,并且烟粉尘也混杂在排放物中。燃烧副产物主要是毒性极强的二噁英副产物。燃烧残渣主要是灰分、金属氧化物和未燃物,法规要求燃烧残渣经危险废物特性鉴别后为危险废物的按照危险废物进行安全填埋处置,不属于危险废物的按照一般废物进行处置。所有这些在焚烧过程中排放的气体必须通过尾气净化系统加以处理或通过采用最佳焚烧工艺减少污染物的排放量,否则将严重污染大气环境。

在污染物产生方面,以医疗废物焚烧处置产生的二噁英为例,以规划前运行的处理设施计算,当时在运行的43个集中式设施(规模合计为213.2t/d,处理设施达产率平均为32%)中,有36个设施配置了尾气净化设施,喷水降温、布袋除尘和活性炭吸附工艺应用相对普遍,脱酸工艺应用比较少,在尾气净化上主要以除尘为主,较少考虑脱酸。集中焚烧设施均

大多没有有效的监测措施，二噁英基本超标排放(大于 0.5 ng TEQ/t)。根据工具包中的信息，参考我国的少量医疗废物焚烧炉检测结果，大气排放因子选取 525gTEQ/百万 t，底灰和飞灰 920gTEQ/百万 t。可得我国医疗废物焚烧设施向大气排放 1306.1gTEQ，底灰和飞灰 2288.8g TEQ，共计 3594.9gTEQ。而对于“非典”期间建设的 132 个分散式设施(规模合计为 226.2t/d，处理设施达产率平均为 32%)简易焚烧设施中，有 66 个设施填报配置有尾气净化设施(占 50%)，但处理工艺相当简单，设施相当简易。这些分散焚烧设施均大多没有有效的监测措施，二噁英全部超标排放(大于 0.5 ngTEQ/t)。根据工具包中的信息，参考我国的少量医疗废物焚烧炉检测结果，大气排放因子选取 3000gTEQ/百万 t，底灰和飞灰 20gTEQ/百万 t。可得现有医疗废物焚烧设施向大气排放 7926gTEQ，底灰和飞灰 52.8gTEQ，共计 7978.8gTEQ。上述统计旨在让我们对危险废物焚烧产生的二噁英会有一个总体的认识，随着规划内建设项目建设完毕并投入运行后，国内相关情况会有明显的好转。

### 5.3 行业污染控制技术分析

焚烧处置技术是目前国际上危险废物处置应用最为广泛的技术，危险废物处置技术的应用和管理是一个不断进步和发展的过程，世界各国，无论是发达国家还是发展中国家，都在积极的推进其处置技术应用和管理能力的提升。目前常用的危险废物焚烧设备包括回转窑、液体喷射炉、固定床和流化床。无论选用何种焚烧设备，废物的化学和热动力学性质决定了燃烧室的尺寸、运行条件(温度、过量空气、流速)、后续的烟气处理系统和灰渣处理系统。废物主要成分和含水率决定了化学计量燃烧空气需求量和燃烧时的气体流速和成分。这些参数对于决定燃烧温度、停留时间、废物/燃料/空气混合效率及烟气净化装置的类型和尺寸等也是非常重要的。因此，在选择危险废物焚烧系统和设计时要充分分析和考虑废物的类型和性质，合理的选用高效经济的炉型和烟气处理装置，并根据处理量和处理要求确定合适的设计参数和工艺参数，保证危险废物焚烧时的稳定和效率。危险废物焚烧处置通用工艺流程及污染控制措施如图 5-1 所示。

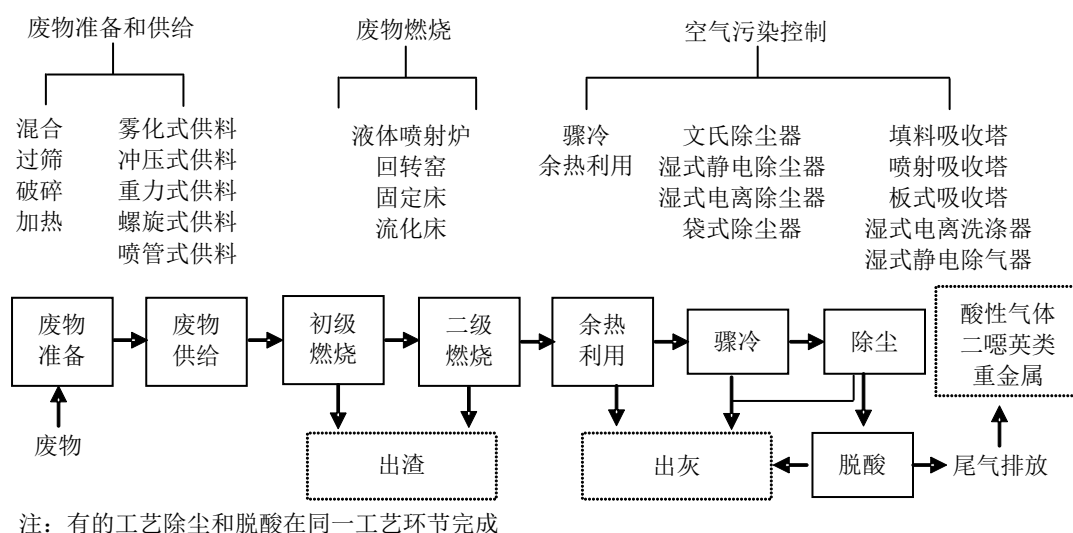


图 5-1 危险废物焚烧处置通用工艺流程及污染控制措施

由图 5-1 可以看出，危险废物焚烧处置是一个系统工程，充分体现了各个系统的不同功能以及不同系统之间的衔接性。因此，对于危险废物焚烧处置技术应用和管理，不仅要考虑焚烧主体设备的适用性，还要从焚烧全过程考虑相关配套技术应用、污染控制技术选择等内容，进而促进废物的安全无害化处置。

在污染控制措施方面，二噁英主要产生于废物焚烧、农药生产等过程。二噁英在850℃以上会很快分解，但在250℃-350℃温度下，在铜等作催化剂和CO浓度较高的还原条件下很容易合成。因此抑制二噁英产生的最有效办法是所谓的“3T”控制：“3T”即炉温（Temperature）、停留时间（time）、湍流（Turbulence）。避免二噁英重新合成的主要方法是控制CO的浓度和烟气冷却时要尽可能快速通过250℃-350℃温度区。烟气中的二噁英可以通过活性炭吸附和催化氧化的方法去除。重金属在烟气中主要以烟尘的形式存在，可以通过电除尘、袋式除尘和湿式除尘的方式去除。二氧化硫可以通过湿式除尘（碱洗）方式去除，去除率较高。氮氧化物的控制一般通过低氧气浓度燃烧来控制，但氧气浓度过低，会产生CO，对二噁英的控制产生影响，因此需要综合考虑。氮氧化物的去除一般通过无触媒氧化和触媒氧化的方法去除。

#### 5.4 行业污染物排放数据

经收集近期国内主要危险废物和医疗废物处置中心监测数据如表 5-2 所示。

表 5-2 国内目前主要设施污染物排放情况 单位：mg/m<sup>3</sup>

序号	监测项目	天津	杭州	沈阳	广东	南昌	益阳	标准限值
1	烟尘	41.8	11.6	—	19	—	—	80
2	二氧化硫	62.6	10.4	40	5	6.8	38.8	300
3	氮氧化物	148	148	48	47	73.1	149	500
4	一氧化碳	1.97	1.63	60	52	6.0	30.3	80
5	氟化物	0.11	—	—	—	—	—	7
6	氯化氢	1.51	6.11	1.3	20	—	—	70
7	汞及其化合物 (以 Hg 计)	1.69 ×10 <sup>-4</sup>	4.44 ×10 <sup>-3</sup>	—	—	—	—	0.1
8	镉及其化合物 (以 Cd 计)	未检出	2.48 ×10 <sup>-3</sup>	—	—	—	—	0.1
9	铅及其化合物 (以 Pb 计)	未检出	0.26	0.05	—	—	—	1.0
10	砷、镍及其化合物 (以 As+Ni 计)	未检出	0.67	—	—	—	—	1.0
11	二噁英 ngTEQ/m <sup>3</sup>	0.27	0.027	0.081	—	11.06	0.31	—

除表5-2所示数据外，另据国内有关机构监测分析结果，采集分析了来自全国14个危险废物和医疗废物处置设施尾气中二噁英排放数据如表5-4所示。

表5-3 国内部分焚烧设施二噁英监测数据

序号	设施类型	处置规模(t/d)	二噁英(ng TEQ/m <sup>3</sup> )
1	热解立窑	5	0.32
2	热解立窑	8	0.22
3	热解立窑	10	3.58
4	热解回转窑	24	0.50
5	热解回转窑	24	1.15
6	热解回转窑	8	2.81
7	热解回转窑	8	0.50
8	热解回转窑	25	0.20
9	热解立窑	24	0.19
10	热解立窑	24	0.19
11	热解立窑	24	17.67
12	热解回转窑	2	0.08
13	热解立窑	23	0.10
14	热解回转窑	25	31.60

由表 5-2 可以看出，除了二噁英外，各项常规污染物均达到了相应的标准限值要求，达标的压力不大。而由表 5-3 可以看出，采样的 14 个焚烧设施总体二噁英浓度变化范围为 0.08-31.60ngTEQ/m<sup>3</sup>，其中 9 个设施达到目前 0.5 ngTEQ/m<sup>3</sup> 水平，2 个设施达到 0.1 ngTEQ/m<sup>3</sup> 水平，2 个设施高于 0.5ngTEQ/m<sup>3</sup> 水平。

## 6 标准主要技术内容

### 6.1 标准适用范围

#### 6.1.1 本标准的适用范围及依据

《危险废物焚烧污染控制标准》从危险废物焚烧处置过程中环境污染防治的需求出发，旨在贯彻实施《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》、《国务院关于落实科学发展观加强环境保护的决定》等法律和《国务院关于编制全国主体功能区规划的意见》，保护环境，保障人体健康，防治危险废物焚烧处置造成的污染，标准规定了危险废物焚烧设施的选址原则、焚烧炉的技术性能指标、污染物的排放控制要求和监测要求等内容。标准适用于危险废物焚烧处置设施建设及运行过程中的污染控制和监督管理。

#### 6.1.2 本标准不适用的情况及依据

焚烧方法作为危险废物处置的主要方法之一，适用于那些不能再循环利用或无法安全填埋的废物。焚烧可以有效破坏废物中的有害组分，达到减容减量效果，还可以回收热量用于供热或发电。但焚烧设施投资较大、运行费用昂贵、操作管理要求高，处理成本较高。不同的危险废物对于焚烧要求的处理条件不同，目前焚烧处理的工艺和设备很多，使用范围各不相同。因此本标准不适用于除焚烧法之外的其他处理处置危险废物的技术。

### 6.1.3 本标准与其他标准的衔接关系

《危险废物焚烧污染控制标准》与其他标准的关系如图 6-1 所示。

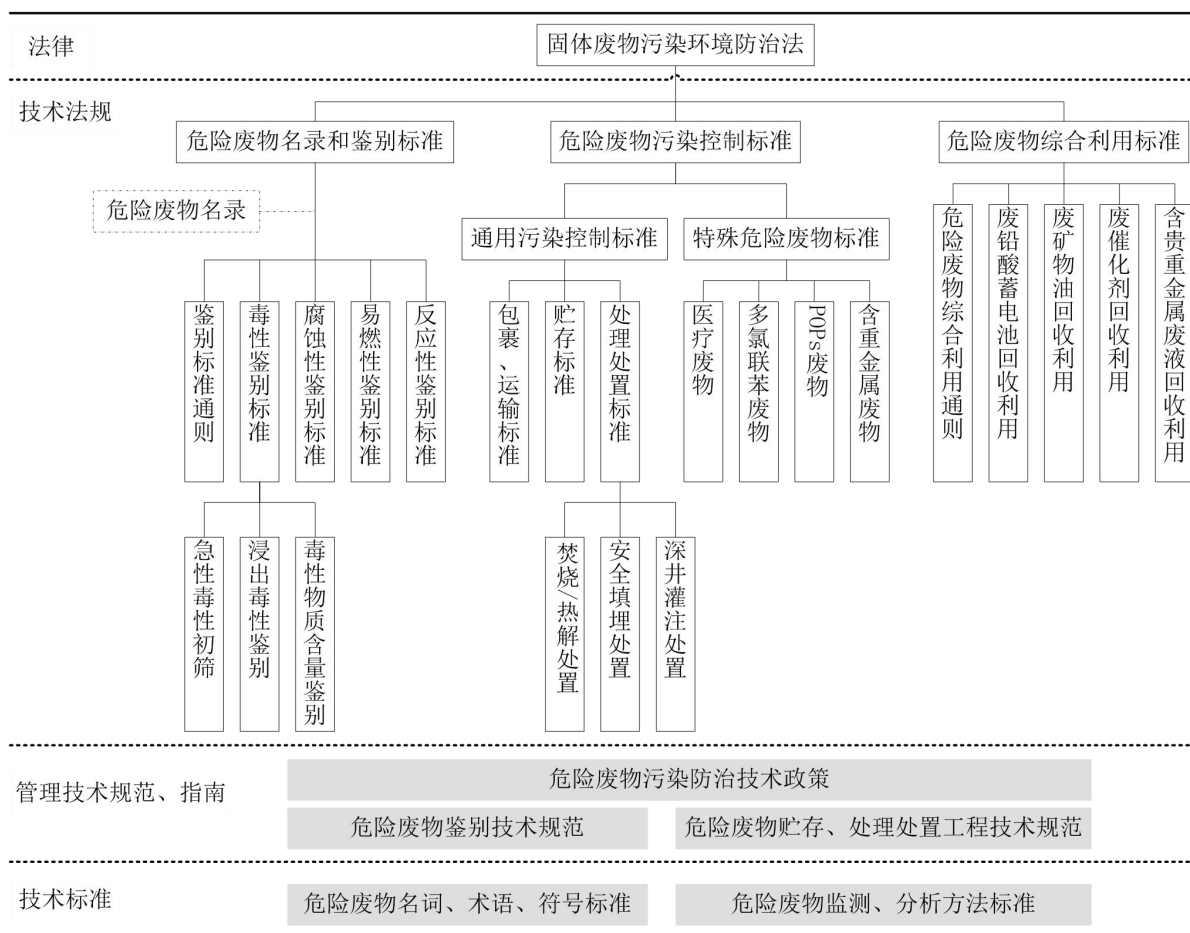


图 6-1 《危险废物焚烧污染控制标准》与其他标准的关系图

## 6.2 标准结构框架

### 6.2.1 标准的主要内容

本标准文本包括：适用范围、规范性引用文件、术语和定义、技术要求、大气污染物排放控制要求等八部分内容。本标准文本大纲如下：

#### (1) 适用范围

主要内容包括本标准规定的主要内容及适用范围。

#### (2) 规范性引用文件

主要内容是列出本标准编制过程中引用的主要法律、法规、标准。

#### (3) 术语和定义

根据行业特点并结合标准编制，对所涉及的主要专业术语进行定义。

#### (4) 技术要求

本部分结合危险废物焚烧处置设施的工艺特点,对采用焚烧技术的危险废物焚烧处置设施各组成部分要求进行规定。

#### (5) 排放控制要求

本部分对危险废物焚烧处置过程中产生污染物的排放限值进行规定。

#### (6) 运行要求

本部分从保障危险废物焚烧处置设施安全运行的角度出发,提出了危险废物焚烧处置设施运行要求。

#### (7) 监测要求

本部分从环境管理角度出发,围绕危险废物焚烧处置过程中的废气、废渣及土壤的处理效果监测要求、监测方法、监测频次等进行规定。

#### (8) 实施与监督

本部分结合环境管理需求,对本标准的监督实施主体进行规定。

### 6.2.2 现有设施、新建设施的划分时间点

本标准规定自 2015 年 7 月 1 日起到 2016 年 6 月 30 日止,现有设施执行执行 GB18484—2001 中规定的大气污染物排放限值;自 2016 年 7 月 1 日起,现有焚烧处置设施和新建设施一样执行 5.2 条中表 2 中规定的大气污染物排放限值。

## 6.3 术语和定义

本节为对执行本标准制定的专门的术语和对容易引起歧义的名词进行的定义。与现行标准相比,增加了现有危险废物焚烧设施、新建危险废物焚烧设施、毒性当量因子、毒性当量、标准状态测定均值的定义;修改了危险废物、烟气停留时间和焚毁去除率的定义;焚烧炉、焚烧残余物、热灼减率、焚烧炉温度、燃烧效率、二噁英类、二噁英毒性当量和标准状态的定义不变。

### 6.3.1 关于术语中危险废物定义修改的说明

危险废物的定义有三种方法,有时是三种方法的结合,已应用于危险废物的判定和分类,即一般定义、排他性定义、包含性定义。现行标准中采用的定义是从《固废法》中直接引用的,对危险废物特性只是从宏观角度进行规定,是一个通用的定义。随着我国危险废物管理体系日渐完善,目前正在使用的危险废物鉴别方面最新的官方文件是《危险废物鉴别标准》,为了保证危险废物标准体系的统一和完整,本标准在修订时采用了《危险废物鉴别标准》中的危险废物定义。

### 6.3.2 关于术语中焚毁去除率(DRE)计算方法修改的说明

$$DRE=(W_i-W_o)/W_i \times 100\%$$

式中:  $W_i$ —为单位时间内被焚烧的特征有机化合物的总量, kg/h;

W<sub>0</sub>—为单位时间内随烟气排出的与 W<sub>i</sub> 相应的特征有机化合物的总量, kg/h。

主要修改内容是将 W<sub>0</sub> 的定义由“烟道排放气和焚烧残余物中与 W<sub>i</sub> 相应的有机物质的重量之和”修改为“为单位时间内随烟气排出的与 W<sub>i</sub> 相应的特征有机化合物的总量”。其主要理由是美国危险废物焚毁去除率的计算也是未考虑焚烧残余物, 再加考虑到在实际中的可操作性特作出如此修订。

### 6.3.3 关于术语“烟气停留时间”的定义修改说明

现行标准中将烟气停留时间定义为“燃烧气体从最后空气喷射口或燃烧器到换热面(如余热锅炉换热器等)或烟道冷风引射口之间的停留时间。”在实际执行过程中很难界定燃烧气体等的范围, 为了使该标准更具有可操作性, 进一步指明了烟气停留时间的范围, 因此将定义修订为“指燃烧所产生的烟气从最后的助燃空气喷射口或燃烧器出口到二次燃烧室或高温燃烧区出口之间的停留时间。”

### 6.3.4 关于术语中增加现有危险废物焚烧设施和新建危险废物焚烧设施的说明

危险废物焚烧处置设施中有一部分设施建于本标准实施之日前, 其配套设施建设标准可能无法满足本标准修订后的技术要求, 达不到本标准修订后排放限值的要求。因此, 本标准给在本标准实施之日前建设的设施一定时间的缓冲期限, 增加了现有危险废物焚烧设施和新建危险废物焚烧设施两个术语定义。具体内容如下:

(1) 现有危险废物焚烧设施: 指本标准实施之日前, 已建成投入使用或环境影响评价文件已通过审批的危险废物焚烧设施。

(2) 新建危险废物焚烧设施: 指本标准实施之日起环境影响评价文件通过审批的新建、改建和扩建危险废物焚烧设施。

## 6.4 技术要求

本部分从保障危险废物焚烧处置设施安全运行的角度出发, 提出了危险废物焚烧处置设施运行要求。本部分分别对焚烧设施的选址原则、焚烧物要求、焚烧厂主体设施的技术要求等进行了重新规定。

### 6.4.1 焚烧设施的选址要求

本部分对危险废物焚烧处置设施的选址要求进行了宏观规定, 要求焚烧设施的选址应符合当地的城乡规划和环境保护规划。并且应依据环境影响评价结论确定, 并经国家或地方环境保护行政主管部门批准。

### 6.4.2 焚烧物要求

在现行标准的基础上增加了 4.2.2 条和 4.2.3 条。主要是考虑到废物的成分对危险废物

焚烧处置设施的安全稳定运行影响很大，因此对于进炉废物进行配伍，以使其热值、主要有机有害组分含量、有机氯含量、重金属含量、硫含量、水分和灰分满足焚烧处置设施的设计要求，并尽可能保证入炉废物理化性质的稳定性。

### 6.4.3 焚烧厂主体设施的技术要求

本部分对焚烧厂主体设施中危险废物贮存设施、焚烧炉、焚烧炉排气筒等进行了相关的规定，确保焚烧处置设施安全稳定运行，并满足相关法律、法规的规定。

4.3.1 条从宏观上对焚烧焚烧厂主体设施所包括得内容进行规定，进一步明确焚烧焚烧厂主体设施包括危险废物贮存设施、焚烧炉、焚烧炉排气筒等。

4.3.2 条明确指出危险废物焚烧处置厂中危险废物贮存设施应满足的条件，去掉了现行标准中的具体规定的内容，因为无法明确每一个要求，为了保证与其他标准的统一性，因此规定，应满足 GB 18597 标准中对贮存设施的所有要求。

4.3.3 条主要是对现行标准中焚烧炉技术性能指标进行了修订，增加了烟气一氧化碳浓度一列，主要是考虑到一氧化碳为考证焚烧炉性能指标的主要参数，而非排放指标，因此将其列在表中；将表中的多氯联苯改为持久性有机物，考虑到多氯联苯为持久性有机物的一种，根据 POPs 公约，将其改为持久性有机物，既符合现在危险废物的发展，又符合国际公约的要求，更满足我国目前履约的需求。

4.3.4 条规定了焚烧炉排气筒要求，在修订过程中去掉了现行标准中对排气筒高度的具体要求，改为宏观规定，主要是在现行标准的实施过程中，无法达到现行标准的要求，因此，焚烧炉排气筒只要满足国家相关要求，并能够达标排放的排气高度可根据环境影响评价确定。

## 6.5 污染物排放控制要求

### 6.5.1 焚烧处置设施大气污染物排放限值

随着危险废物焚烧处置技术和污染物控制技术的进步，危险废物焚烧处置设施污染排放限值得以进一步提高，同时考虑到履约要求，因此本标准修订时对二噁英、烟尘、重金属等污染物排放要求提高，考虑到中国的履约要求和国情，到 2016 年 6 月 30 日止，现有设施执行 GB18484—2001 中规定的大气污染物排放限值，即现行标准限值要求；自 2016 年 7 月 1 日起，现有设施和新建设施均执行 5.2 条中表 2 规定的大气污染物排放限值。以下对表 2 的指标修订进行解释，具体要求如下：

#### (1) 二噁英



经过修订后将二噁英类污染物排放标准确定为  $0.1\text{ngTEQ}/\text{Nm}^3$ ，并采用分阶段实施的方法。

美国于 1997 年颁布了最新的焚烧炉标准，要求所有新建的焚烧炉要执行新的污染物排放限值要求，并要求所有现有的危险废物焚烧炉在 2002 年前都必须符合危险废物焚烧炉标准。在二噁英类污染物排放限值方面，在现有的焚烧炉二噁英类标准为  $0.2\text{ngTEQ}/\text{Nm}^3$  或者二者联合值为  $0.4\text{ngTEQ}/\text{Nm}^3$ 。欧洲颁布了欧洲指令，明确二噁英类的排放限值为  $0.1\text{ngTEQ}/\text{m}^3$ 。日本、香港等地的标准也为  $0.1\text{ngTEQ}/\text{m}^3$ 。在国际方面，随着《关于持久性有机污染物国际公约》(POPs 公约)的签订，该公约于 2004 年 11 月进入实施阶段，公约要求所有签约国家减少二噁英类等副产品的产生，而危险废物焚烧是以上副产品的重要来源，无疑也是公约所限制的主要内容之一。该公约提出，危险废物焚烧过程中容易产生二噁英类、HCB、PCB(多氯联苯)和其他微量重金属污染物，公约要求各缔约国采用最佳实用技术(BAT)和最佳环境实践(BEP)。在二噁英类减排控制时间要求方面，公约提出缔约方应在公约正式生效的两年内制定实施计划，应在公约正式对该缔约方生效不晚于四年内提出针对新源的最佳实用技术要求。联合国环境规划署 POPs 公约秘书处制定的《最佳可行技术与最佳环境实践导则》认为焚烧技术是危险废物处置中最为成熟的技术，并对主流焚烧技术，如回转窑、热解、流化床等焚烧炉的工艺设计和运行参数进行了严格的规定，也对危险废物的产生、收集、分类、贮存、运输、处理及最终处置过程提出了详细的要求。在标准方面，BAT/BEP 导则对焚烧处置过程的二噁英类没有提出强制性的标准，但是认为采用 BAT 技术的焚烧炉尾气二噁英类排放应达到  $0.01 - 0.1\text{ngTEQ}/\text{Nm}^3$  的水平，而  $0.1\text{ngTEQ}/\text{Nm}^3$  的排放限值是该导则推荐的最低标准限值要求。

POPs 公约于 2004 年 11 月 11 日对中国正式生效，也就是说中国应在 2008 年 11 月 11 日前对新源提出最佳实用技术要求，尤其是二噁英类污染控制指标。为全面推进中国履行 POPs 公约进程，国家环境保护总局会同各部委编制完成了《中国履行持久性有机污染物公约国家实施计划》(以下简称“国家实施计划”或“该计划”)，并已于 2007 年 4 月 14 日获得国务院的批准，该计划确定了中国 POPs 履约过程的优先领域。在二噁英等副产物类 POPs 控制的具体目标方面提出，“到 2015 年，对重点行业推行 BAT/BEP，基本控制二噁英排放的增长趋势。”我国针对副产物类 POPs 管理和控制领域相关工作的开展，标志着中国在推进 POPs 履约方面所取得的关键性进展，为中国推进副产物类 POPs 的污染控制以及国际履约工作的开展指明了方向。

根据我国现行的危险废物焚烧污染控制标准，中国的二噁英类控制标准为  $0.5\text{ngTEQ}/\text{Nm}^3$ ，考虑到中国的履约要求和国情，经过修订后将二噁英类污染物排放标准限值数值确定为

0. 1ngTEQ/Nm<sup>3</sup>。

## (2) 烟尘

*标准由现在的 65-100mg/m<sup>3</sup> 修订为 30mg/m<sup>3</sup>。*

根据我国现有各类除尘技术的除去效率以及实际的监测结果(多在 10-400mg/m<sup>3</sup>)。袋式除尘器能较好地处理尘颗粒,有效除尘效率高达 99%,并且适应性强,在一定条件下,进口浓度的变化几乎不影响出口浓度,在我国应用已较为广泛。因此,采用前述的尾气处理系统,可大大降低烟尘的排放浓度。但由于袋式除尘器对入口烟气温度的要求,一般要配置气体冷却装置而增加部分投资。另一方面,采用湿式除尘器不仅可以获得 95%的除尘效率,而且还能明显减少有害酸性气体成分的排放。

与部分国家和地区的同类标准相比,本标准所确定的烟粉尘的排放限值(30mg/m<sup>3</sup>)与多数国家和地区该标准值(10-150mg/m<sup>3</sup>)接近。通过采取相应措施,烟尘达到本修订标准确定的限值是可能的。

## (3) SO<sub>2</sub>

*标准由现在的 200-400mg/m<sup>3</sup> 修订为 200mg/m<sup>3</sup>。*

SO<sub>x</sub> 是含硫危险废物在燃烧过程中由硫的氧化产生的,主要由 SO<sub>2</sub> 组成,SO<sub>3</sub> 的量通常不到总 SO<sub>x</sub> 的 2-3%,因此本标准中确定 SO<sub>2</sub> 为控制项目。危险废物中的硫通常以有机硫化物的形式存在,也可能以硫酸盐或硫化物的形式存在。在燃烧过程中,有机硫化物和硫化物向 SO<sub>2</sub> 的转化反应很快,硫酸盐在通常的燃烧温度下可以长时间稳定而存在于残渣中。

自《危险废物焚烧污染控制标准》(GB18484-2001)颁布以来,我国在 SO<sub>x</sub> 污染治理方面不断取得进步,在烟气脱硫方面不断取得新的进展。参考国外同类标准(50-750mg/m<sup>3</sup>),并结合目前现有基础条件,本标准修订确定的 SO<sub>2</sub> 的排放限值为 200mg/m<sup>3</sup>,居于国外同类标准值的中间水平,从技术角度也是可以达到的。

## (4) HF

*标准由现在的 5-9mg/m<sup>3</sup> 修订为 2mg/m<sup>3</sup>。*

HF 的产生量取决于所焚烧废物中的氟含量和燃烧条件,其排放量比 HCl 等低得多。基于各国对 HF 排放标准限值比较接近(1-7mg/m<sup>3</sup>)。本标准确定 HF 的排放限值为 2mg/m<sup>3</sup>,该限值居于国外同类标准值的中间水平,从技术角度也是可以达到的。

## (5) HCl

*标准由现在的 60-100mg/m<sup>3</sup> 修订为 50mg/m<sup>3</sup>。*

HCl 的量取决于所焚烧废物中的氯含量和燃烧条件,HCl 的排放量还与有机氯化物的存在有关,因为有机氯几乎可全部转化成 HCl。氯化物的转化与反应都比较复杂,在残渣和飞灰中可发现大量的氯化物。

通过测定废物中 Cl 的含量可以推算出产生的 HCl 浓度。如 Cl 含量在 0.1-0.5%时,若全部转化为 HCl,则其浓度大约在 250-1300ppm。进入排气处理系统入口的 HCl 浓度与焚烧炉

的气体冷却设备的形式密切相关。如采用湿式或半干式除尘设备，由于水分作用使烟粉尘湿润，在吸收部分 HCl 的同时，水分蒸发过程中携带的烟粉尘中的碱性成分也可固定一部分 HCl。鉴于此，本标准确定 HCl 的排放限值为  $50\text{mg}/\text{m}^3$ ，达标排放是可行的。

#### (6) $\text{NO}_x$

*标准由现在的  $500\text{mg}/\text{m}^3$  修订为  $400\text{mg}/\text{m}^3$ 。*

$\text{NO}_x$  的产量不仅与废物中氮的含量有关，而且极大的依赖于燃烧条件。废物中的氮即使在较低的温度 ( $600\text{--}900^\circ\text{C}$ ) 下也可被氧化为  $\text{NO}_x$ 。如果废物中含 0.5% 的氮且全部转化为  $\text{NO}_x$ ，则排气中  $\text{NO}_x$  的浓度可达 1000ppm 以上。 $\text{NO}_x$  的产生有三种可能的途径：高温下氮气和氧气反应生成  $\text{NO}_x$ ；相对低温下有机物和氮气、氧气反应生成  $\text{NO}_x$ 、CO 和水；含氮有机物燃烧和含氮无机物分解生成  $\text{NO}_x$ 、 $\text{CO}_2$  和水。 $\text{NO}_x$  包括  $\text{NO}_2$  和  $\text{NO}$ ，在高温下主要为  $\text{NO}_2$ 。 $\text{NO}_2$  的毒性是  $\text{NO}$  的 4-5 倍。

目前一般危险废物焚烧厂对于  $\text{NO}_x$  的控制方法可以分为燃烧控制法和排烟脱硝法两种。虽然采用低氧含量和控制炉温 (低温) 的方式可以降低  $\text{NO}_x$  的生成量，但这种方式不仅降低排气中  $\text{NO}_x$  的浓度有限，而且与降低 CO 和  $\text{C}_x\text{H}_y$  等还原性物质含量以防止二噁应生成的控制对策正相矛盾。而要达到后一目的，势必难以使  $\text{NO}_x$  还原成  $\text{N}_2$  以减少  $\text{NO}_x$  的生成量。因此，虽然  $\text{NO}_x$  必须严格予以控制，但从危险废物焚烧处置的技术性能要求来看，由于燃烧温度在  $1100\text{--}1200^\circ\text{C}$  之间，在如此高的温度下， $\text{NO}_x$  的产生主要来源于高温下氮气和氧气的反应，由废物本身产生的  $\text{NO}_x$  在总的  $\text{NO}_x$  中比重不大。改进焚烧工艺，降低空气过剩系数，可减少或抑制  $\text{NO}_x$  的产生量。试验表明，一般情况下，焚烧炉排气中  $\text{NO}_x$  浓度多在  $200\text{--}310\text{mg}/\text{m}^3$ ，因此超出  $500\text{mg}/\text{m}^3$  排放限值的可能性很小。该限值高于国外同类标准，其标准限值范围为  $200\text{--}500\text{mg}/\text{m}^3$ ，本标准确定的  $400\text{mg}/\text{m}^3$  的标准限值与香港的标准值一致。反映了国内目前的净化技术能力和经济能力，是比较合理的。

#### (7) 重金属

废物中的重金属可能来源于废干电池、荧光灯、体温计、颜料、PVC 和电子材料等。由于重金属属于非焚烧可破坏性物质，因此降低焚烧炉排气中重金属排放浓度的首选方法是进行废物分类以避免含重金属的废物进入待焚烧的废物中。对于进入焚烧炉的重金属，经高温燃烧后，按各种重金属的不同挥发性，一部分进入灰渣中，一部分进入气体中。当废气经热回收大气污染防治设备冷却后，大部分重金属 (如铅和镉等在  $300^\circ\text{C}$  以下是以固体存在的) 被凝聚于飞灰并通过除尘设备除去。

汞等饱和蒸汽压较高的重金属则大部分存在于废气中。在袋式除尘器前喷射活性炭可加强吸附作用，在湿式洗涤塔的洗涤液中添加催化剂 (如  $\text{CuCl}_2$ ) 可促可溶性重金属氯化物的形成，配以螯合剂吸收可避免其再度挥发。也可以袋式除尘前喷入  $\text{Na}_2\text{S}$  以形成重金属硫化物而得到固定并通过除尘设备与飞灰一起除去。

本标准根据重金属挥发性、不挥发性特征将现行标准的分类和限值作如下修改：

#### ①Hg 及其化合物

标准由现在的  $0.1\text{mg}/\text{m}^3$  修订为  $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ 。

虽然尚无排气中汞含量的实测数据，但在焚烧炉的排气中，汞的含量在  $0.1\text{--}0.5\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，产生于废物中的废干电池、体温计和荧光灯等。因此，对大气中汞的污染控制与处理必须予以特别的注意。虽然在废物焚烧炉中汞以金属气的形式存在，但通过气体冷却过程，排气中的汞可与 HCl 反应，80–90% 转化为  $\text{HgCl}_2$ ，并且炉内温度越高，HCl 浓度越高，向  $\text{HgCl}_2$  的转化率越高， $\text{HgCl}_2$  为水溶性化合物，因此可采用湿式洗烟设备予以除去 (77% 左右)。

由于仍有部分 (约 7%) 汞可能会进入排气中，因此，在确定其排放标准时不仅要考虑汞对人体健康的影响与危害，还要考虑现有净化设施的技术水平。参考国外同类标准值，其标准限值范围为  $0.05\text{--}0.1\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，本标准确定汞的排放标准为  $0.05\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。由于汞的净化技术较完善，如冷凝–活性炭吸附法的去除率达 98–99%，高锰化净化效率达 97% 左右，吸收–吸附净化效率达 98% 左右。因此，达标排放是没有问题的。

#### ②Tl、Cd 及其化合物

标准由现在的  $0.1\text{mg}/\text{m}^3$  修订为  $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ 。

镉及其化合物对生物体的危害极大，并缺少实际监测数据，与汞一样，本标准参考国外同类标准，其标准限值范围为  $0.05\text{--}0.1\text{mg}/\text{m}^3$ 。本标准确定铊和镉的排放限值为  $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ 。

#### ③As

由现行标准 As + Ni 改为 As，考虑到 As 和 Ni 及其化合物的挥发特性不同，因此分别进行监测，排放限值为  $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ 。

#### ④Pb

标准由现在的  $1.0\text{mg}/\text{m}^3$  修订为  $0.5\text{mg}/\text{m}^3$ 。

#### ⑤Cr+Sn+Sb+Cu+Mn+Ni

标准由现在的  $4.0\text{mg}/\text{m}^3$  修订为  $2.0\text{mg}/\text{m}^3$ 。

铬、锡、铜、锰和镍及其化合物对生物体的危害也很大，由于缺少实际监测数据，本标准参考国外同类标准，其标准限值范围为  $0.5\text{--}10\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，确定这些金属及其化合物的排放标准为  $2.0\text{mg}/\text{m}^3$ 。

### 6.5.2 其他污染物(项目)排放控制要求

危险废物焚烧处置设施排放水污染物、恶臭污染物、环境噪声适用相应的国家污染物排放标准，产生固体废物的鉴别、处理和处置适用国家固体废物污染控制标准。该部分规定在前言中已做规定。

## 6.6 运行要求

现行标准中没有关于运行要求相关内容，考虑到该部分内容在推进危险废物焚烧污染控制方面的重要意义，增加了与污染控制相关的关键内容，以便于该标准的有效实施，相关内

容涉及废物投加、在线监测、炉渣计费会处置、周边环境监测以及运行记录要求等。

6.1 条提出，焚烧炉在启动时，应先将炉内温度升至表 1 中规定的温度后开始投加废物。启动阶段，焚烧温度低于表 1 时投加废物，二噁英类污染物产生量会明显增大，因此启动阶段禁止投加废物。

6.2 条提出，焚烧炉在运行过程中发生故障，应及时检修，尽快恢复正常。如果无法修复，则应立即停止投加废物，按照程序关闭系统。焚烧系统启动、关闭和故障时污染物的产生量增大明显。因此，焚烧系统尽可能减少启动、关闭的次数。

6.3 条提出，危险废物焚烧处置设施焚烧产生的炉渣与飞灰经鉴定后若是危险废物会具有一定的危险性，为了确保安全，应分别收集、贮存、运输和处置。

6.4 条提出，危险废物焚烧厂运行期间，应建立运行情况记录制度，如实记载有关运行管理情况，主要包括处置危险废物的种类和数量、危险废物焚烧炉工艺控制参数、环境监测数据等。运行情况记录簿应当按照国家有关档案管理的法律法规进行整理和保管。

通过上述规定，使危险废物焚烧处置设施在运行管理所涉及的核心内容方面更加完善。

## 6.7 监测要求

本标准自2001年颁布实施以来，国家颁布实施了《环境监测管理办法》和《污染源自动监控管理办法》等文件。因此，本标准进行修订后应遵守相关要求。同时，修订后的标准也对大气污染物在线监控指标的监督性监测频次进行了规定，具体内容涉及除自动在线监控项目外，二噁英监督性监测频次不少于1次/年，其他大气污染物的监督性监测频率不少于1次/季度。

在采样取值方面，参考《固定源废气监测技术规范（HJ/T 397）》的要求，分为小时均值和测定均值，即在1h内，连续采集样品检测得到的平均值为小时均值；在1h内，以等时间间隔至少采集三个样品检测得到的平均值为测定均值。根据所监测污染物的特性，设定烟尘、二氧化硫、氟化氢、氯化氢、氮氧化物采用小时均值作为污染排放判断限值，汞、镉、铅、砷、铬、锡、锑、铜、锰、镍等重金属和二噁英类采用测定均值作为污染排放判断限值。

## 6.8 标准的实施

现行标准中规定“自本标准实施之日起，二噁英类污染物排放限值在北京市、上海市、广州市执行。2003年1月1日之日起在全国执行。”考虑到目前我国《全国危险废物和医疗废物处置设施建设规划》发布后危险废物和医疗废物焚烧处置设施数量的增长和焚烧处置技术的进步取消了原来只在北京市、上海市、广州市执行的限制，而是改为在全国范围内都执行本标准规定的排放限值要求，具体要求如下：

(1) 本标准由县级以上人民政府环境保护行政主管部门负责监督实施。

(2) 在任何情况下，危险废物焚烧厂均应遵守本标准的污染物排放控制要求，并采取必要措施保证污染防治设施正常运行。各级环保部门在对危险废物焚烧厂进行监督性检查时，

可以现场即时采样获得均值,将监测结果作为判定排污行为是否符合排放标准以及实施相关环境保护管理措施的依据。

## 7 主要国家、地区及国际组织相关标准研究

### 7.1 主要国家、地区及国际组织相关标准

#### 7.1.1 美国焚烧污染控制标准现状

美国是危险废物生产大国,也是危险废物焚烧处置量最大的国家,从20世纪70年代以来,美国加速了环境立法的步伐,先后颁布了一系列有关废物管理的法律,对危险废物焚烧污染进行控制。其中90%以上的感染性医疗废物是通过焚烧处置的,因此环境保护总署专门针对新建和已有的医疗废物焚烧炉制定了排放标准:(1)1996年6月20日前建设的医疗废物焚烧炉的联邦规划要求(CFR 40第62部分HHH子部分);(2)1996年6月20日后建设的医疗废物焚烧炉的排放指南(CFR 40第60部分Ce子部分);以及(3)1996年6月20日后建设的医疗废物焚烧炉的新源绩效标准(CFR 40第60部分Ec子部分)。

美国在20世纪60年代开始提出危险废物的概念,70年代,累计的危险废物处理处置问题达到了顶峰,因此,出台了一系列的相关法律。美国危险废物管理与处置的核心法律基础是《资源保护回收法(RCRA)》(以下简称“RCRA”),建立了美国固体废物管理体系。2001年,美国危险废物管理的两大系列制度是跟踪制度和许可制度,颁布了一系列的法律法规,对危险废物产生者,危险废物处理、贮存、处置设施运行管理做出了相应的规定,建立了美国危险废物管理政策一源头减量一回收利用一安全焚烧/填埋的管理程序。美国危险废物焚烧污染标准进展历程如下:

(1)1965以前 没有正式的联邦管理体系建立

(2)1965年 固体废物处置法 Solid Waste Disposal Act

①危险废物的鉴别 Identified Hazardous Wastes

②60年代后期为工业废物焚烧技术铺路。Paved Way for Industrial Incineration Late 1960's - Early 1970's as Significant Means of Waste Disposal

(3)1970年清洁空气法 Clean Air Act (CAA) Amendments (1977和1990进行修订),对颗粒物的脱除开始立法

(4)1976 TSCA (有毒物质控制法 toxic substances control Act)

①PCB(多氯联苯)处置

②二噁英控制

③前驱物控制

(5)1976 RCRA (资源回收和保护法 Resource Conservation and Recovery Act)

危险废物名录 Classifications & Waste Definitions

处理标准 Treatment Standards, 1980 和 1986 年重新修订

排放限制要求的细节 Detailed & Complex Permitting Requirements

运行和报告要求 Operating & Reporting Requirements

(6) MACT 最大可实现控制技术标准 (Maximum Achievable Control Technology),

① 1999 年提出 Proposed standards 1999

② 临时标准 Interim Standards - Compliance by 2003 (Extensions Granted)

③ 最终标准 Final standards - Compliance by 2008

④ 排放限制要求 Detailed & Complex Permitting Requirements

⑤ 运行和报告要求 Detailed & Complex Operating & Reporting Requirements

根据美国危险废物相关法规, 在危险废物焚烧前, 管理者必须进行危险废物分析、测定将排放的污染物类型, 并确定稳定状态的、正常的操作条件。分析中必须确定废物的热值、卤素含量、硫含量、铅和汞的浓度。管理者必须每 15 分钟观察一次燃烧和排放控制仪器; 每小时观察一次外通风管的排放; 每天观察一次整个焚烧炉及其配套设施。焚烧许可证必须以书面形式规定根据焚烧炉的设计能力允许处理的废物进料, 规定的废物进料中的任何差错都会违背许可证要求。如果管理者意图焚烧许可证中未列出的废物进料, 他必须要么获得对许可证进行修改的权利, 要么当燃烧期限很短时, 取得临时试烧许可证。同时还要求对焚烧炉的燃烧温度、废物进料量、空气进入量和一氧化碳消耗量进行连续监测。焚烧炉和配套设施必须每天检查; 警报系统和应急关闭控制设施应当每周检查。

### 7.1.2 欧盟焚烧污染控制标准现状

在欧盟不断充实的环境政策和法律中, 废物管理始终是备受关注和重视的领域。尽管在目前, 欧盟的废物管理政策和法律仍非完美, 但它具有自己鲜明的特色。突出表现在以下两个方面: 第一, 欧盟的废物管理目标非常具体和明确; 第二, 欧盟的废物管理思想发展很快, 确保了欧盟的废物管理政策和法律具有先进性。废物焚烧的指令(2000/76/EC)中的目标是尽量防止或限制焚烧或联合焚烧企业排放至空气、土壤, 地表水和地下水中的污染物, 并尽量防止或限制污染排放对人类健康的威胁风险。焚烧指令中制定了严格的操作条件和技术措施, 并通过在欧洲共同体范围内焚烧和联合焚烧设施排放限度的制定和满足欧洲废物指令(75/442/EEC)的实现。该指令针对焚烧线、废物燃料、空气输送系统、余热锅炉、尾气处理设施、残留物和废水处理装置、清洗装置、自动控制系统, 以及记录和监测装置等都提出了具体的规定, 并提出任何焚烧场在未获得许可的情况下不得从事焚烧或联合焚烧经营。在申请和许可方面, 指令中规定了应提供焚烧场初步设计、设施配备以及操作要求, 焚烧废物的类别、热能利用、残渣处置、焚烧处理能力、检测方法、申请变更等条款对危险废物焚烧的申请以及许可方面的内容进行了规定。该指令对废物发送与接收也提出了具体要求, 内容包括运送和接收废物过程中应采取的必要的防护措施, 废物核准所涉及的废物的产生信息、废

物的特性、废物接收过程所涉及的其他相关文件等。在焚烧设施运行操作方面提出焚烧设施运行的焚烧水平、焚烧工艺条件要求，并对感染性危险废物焚烧提出了特殊的要求，对设施操作人员所应具备的资格条件等进行了规定。另外，该指令对焚烧尾气、废水、残渣的处理处置、焚烧的监测以及技术评估、汇报和行政处罚等进行了规定。

由于对人类健康和环境保护的日益关注，欧盟也在逐渐创造各种条件以不同方式解决医疗废物管理问题。在欧盟国家，医院及其他卫生机构所产生的固体废物类可以作为城市固体废物，而传染性的或者有害的废物，要求用特殊方法进行处置。欧洲目前处置医疗废物的主要形式仍然是以焚烧为主，尽管非焚烧技术已经处于逐步扩大应用阶段。但焚烧处置必须满足大气污染控制标准的要求。欧盟的所有废物(危险的或是非危险的)都要遵循欧委会指令 75/442/EEC，危险废物还必须遵循欧委会指令 91/689/EEC，欧盟没有单独的医疗废物立法，因此医疗废物的管理应该受到废物和危险废物管理立法的制约，欧委会指令 2000/76/EC：焚烧指令取代了三项旧的指令，并建立了焚烧厂的许可证条件。该指令还包括与废物递送和接受的要求以及焚烧废渣的管理，依据指令的要求，在适当的情况下废渣应该循环利用。另外，该指令还包括对大气排放的控制和监测的要求。主要规定如下：

(1)由欧洲共同体在联合国经济委员会欧洲公约框架下，就持久性有机污染物签署协议，规定跨国界空气污染法定限度值：二噁英和呋喃为  $0.1\text{ng}/\text{m}^3$ 。焚烧 3t 以上城市固体废物为  $0.5\text{ng}/\text{m}^3$ ，每小时焚烧 1t 以上医疗废物为  $0.2\text{ng}/\text{m}^3$ ；每小时焚烧 1t 以上危险废物为  $0.1\text{ng}/\text{m}^3$ 。

(2)由欧洲共同体在联合国经济委员会欧洲公约框架下，就重金属污染物签署协议，规定跨国界空气污染法定限度值：危险和医疗废物焚烧的颗粒物排放为  $10\text{mg}/\text{m}^3$ ，危险废物中汞排放为  $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ 。

(3)理事会条例 96/61/EC 规定了防止和控制污染的综合策略，其中以综合方式考虑了焚烧设施的环境效能。市政废物焚烧设施处置能力大于 3t/h 和危险废物处置或回收设施处置能力大于 10t/d 者均包含在本条例范围内。

为了保证在整个欧洲共同体范围内许可制度的透明度，公众应能够接近相关信息，并可以参与许可申请的审批决定的讨论以及后来的更新信息。公众应可以进入大于 3t/h 的废物焚烧场，以使其知晓该场操作对环境和人类健康的潜在影响。

### 7.1.3 日本焚烧污染控制标准现状

日本在 20 世纪 50 到 70 年代曾爆发过多次严重的环境公害事件，这些惨痛教训促使日本政府痛下决心，积极应对环境问题。自 20 世纪 80 年代起，日本一些政府机构和民间团体开始调查二噁英排放情况和主要环境介质中的含量。1997 年，大阪府能势町在一处焚烧设施的烟气中检出了浓度高达  $180\text{--}150\text{ngTEQ}/\text{m}^3$  的二噁英排放，随后在焚烧设施周围的土壤中也检测出了二噁英，远远高于世界上其它地区所报道的二噁英环境浓度，这引起了日本科学



家和相关部门的高度重视。因此日本政府迅速地推出了一系列严格控制二噁英的措施，相继制定了《二噁英对策特别实施法》和《二噁英对策推进基本指南》，确定减排目标为：“二噁英排放限值有  $1\text{ngTEQ}/\text{Nm}^3$  提高到  $0.1\text{ngTEQ}/\text{Nm}^3$ ，在未来的4年中(自1999年起)，全国的二噁英排放水平应相对1997年排放水平减少90%。”到2003年，日本二噁英排放量较1997年减少了95.1%，环境介质中二噁英浓度也有所下降。

以上是对国外危险废物管理现状的概述，通过对各国工程公司、制造厂商和运行厂的考察与技术交流，目前世界各国危险废物(医疗废物)处理处置设施运行管理都建立了完善的法律法规体系，而我国在危险废物(医疗废物)处理处置设施运行与世界发达国家存在较大差距。

## 7.2 本标准与主要国家、地区及国际组织同类标准的对比

### 7.2.1 我国现行标准标准限值规定状况

我国现行《危险废物焚烧污染控制标准》(GB12484-2001)标准规定了危险废物焚烧设施场所的选址原则、焚烧炉基本技术性能指标、焚烧炉排气筒高度、焚烧炉大气污染物排放的最高允许限值、焚烧残余物的处置原则和相应的环境监测等。在危险废物焚烧大气污染物排放限值方面的相应规定，如表7-1所示。

表 7-1 现行标准规定的大气污染物排放限值

序号	污染物	不同焚烧容量时的最高允许排放浓度限值		
		$\leq 300(\text{kg/h})$	$300-2500(\text{kg/h})$	$\geq 2500(\text{kg/h})$
1	烟气黑度	林格曼 I 级		
2	烟尘( $\text{mg}/\text{Nm}^3$ )	100	80	65
3	一氧化碳( $\text{mg}/\text{Nm}^3$ )	100	80	80
4	二氧化硫( $\text{mg}/\text{Nm}^3$ )	400	300	200
5	氟化氢( $\text{mg}/\text{Nm}^3$ )	9.0	7.0	5.0
6	氯化氢( $\text{mg}/\text{Nm}^3$ )	100	70	60
7	氮氧化物(以 $\text{NO}_2$ 计, $\text{mg}/\text{Nm}^3$ )	500		
8	汞及其化合物(以 Hg 计, $\text{mg}/\text{Nm}^3$ )	0.1		
9	镉及其化合物(以 Cd 计, $\text{mg}/\text{Nm}^3$ )	0.1		
10	砷、镍及其化合物(以 As+Ni 计, $\text{mg}/\text{Nm}^3$ ) <sup>1)</sup>	1.0		
11	铅及其化合物(以 Pb 计, $\text{mg}/\text{Nm}^3$ )	1.0		
12	铬、锡、锑、铜、锰及其化合物(以 Cr+Sn+Sb+Cu+Mn 计, $\text{mg}/\text{Nm}^3$ ) <sup>2)</sup>	4.0		
13	二噁英 ( $\text{ng TEQ}/\text{Nm}^3$ )	0.5		

注：1)指砷和镍的总量；2)指铬、锡、锑、铜和锰的总量。

### 7.2.2 国内外危险废物焚烧烟气排放标准对比分析

德国最先于1990年颁布了焚烧炉污染物排放标准，其后美国、欧共体等国家相继颁布了其各自的排放标准。部分国家和地区危险废物焚烧污染控制标准限值对比分析如表7-2所示。

表7-2 部分国家和地区危险废物焚烧污染控制标准限值对比分析(mg/m<sup>3</sup>)

指标地区	美国	欧盟	加拿大	德国	丹麦	荷兰	法国	意大利	英国	瑞士	新加坡	中国(修订后新建设施)
烟尘	30	30	20	20	57	57	14	120	70	42	50	30
CO	89	50	57		140	70			140		100	80
SO <sub>2</sub>		50	180	50	420	56	37	420	420	140	200	200
HF		1	4	1	2	1		2	2	1	5	2.0
HCl	15-23	10	50	10	60	14	237	70	70	70	60	50
氮氧化物(以NO <sub>2</sub> 计)	12.0-191.0	400	380	500		98				112	400	400
汞及其化合物(以Hg计)	0.04	0.05-0.1										0.05
铅及其化合物(以Pb计)	0.25, 表征半挥发性金属	Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V, 0.5-1.0	1.4									0.5
镉及其化合物(以Cd计)		(+铊) 0.05-0.1										0.05(以Tl+Cd计)
砷、镍及其化合物(以As+Ni计) <sup>1)</sup>	0.58, As+Be+Cr 低挥发性金属	Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V, 0.5-1.0										0.05(以As计)
铬、锡、锑、铜、锰及其化合物(以Cr + Sn + Sb +Cu +Mn计) <sup>2)</sup>	0.58, As+Be+Cr+Ti+Co+Mn+Ni, 低挥发性金属	Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V 0.5-1.0										2.0(以Cr+Sn+Sb+Cu+Mn+Ni计)
二噁英 ngTEQ /m <sup>3</sup>	专门设施: 0.14 混合处置设施: 0.28	医疗废物: 规模>1t/h, 0.5 危险废物: 规模>1t/h, 0.2	0.1	0.1		0.1-2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

注： 1)指砷和镍的总量； 2)指铬、锡、锑、铜和锰的总量。

#### 数据换算说明：

(1)我国的数据单位与欧盟一样，都是采用 $\text{mg}/\text{m}^3$ （除二噁英以 $\text{ng}/\text{m}^3$ 以外），美国采用了不同的单位，如 $\mu\text{g}/\text{dscm}$ 、 $\text{gr}/\text{dscf}$ 、 $\text{ppmv}$ ，为了便于比较先将其单位都换算成 $\text{mg}/\text{m}^3$ 。我国的检测数据处理方式与欧盟相同，都是修正到 11%氧含量的情况下，标态下干烟气来计算，但美国的检测数据则是换算到7%氧含量的标态下的干烟气，因此需进一步将所有的数据按11%氧含量来计算。

(2)由于各国(地区)所控制的污染物项目不同，如我国和欧盟都有氟化氢、二氧化硫等项而美国则没有，特别是金属污染物的分类也都不相同，因此这些项目无法作出很明确的比较。

(3)单位换算

$1 \mu\text{g}/\text{dscm}=0.001 \text{ mg}/\text{m}^3$ (标态)

$1\text{gr}/\text{dscf}=35.336 \text{ mg}/\text{m}^3$ (标态)

$1\text{ppmv}=\text{M}/22.4 \text{ m}^3$ (标态)M为物质摩尔质量

(4)修正到7%氧含量的数据转化为11%氧含量下的数据

$C(11\%)=c(7\%)*0.714$

C(11%)为修正到 11%氧含量下的污染物浓度数据， $\text{mg}/\text{m}^3$

C(7%)为修正到 7%氧含量下的污染物浓度数据， $\text{mg}/\text{m}^3$

由表 7-2 可以看出，各个国家焚烧烟气中污染物的排放标准限值比本标准要求较严格。

(1) 丹麦、瑞士、法国等三个国家对烟尘的排放限值为  $14\text{mg}/\text{m}^3$ ；美国、加拿大、欧盟和瑞典对烟尘的排放限值大约在  $20\text{mg}/\text{m}^3$ – $40\text{mg}/\text{m}^3$  左右；本标准对新建焚烧处置设施烟尘的限值规定为  $30\text{mg}/\text{m}^3$ ，与发达国家相近；

(2) CO 的限值基本上和其他国家持平，其中欧盟较为严格，为  $50\text{mg}/\text{m}^3$ ，本标准规定为  $80\text{mg}/\text{m}^3$ ，尚有一定差距；

(3) 欧洲国家  $\text{SO}_2$  排放限值为  $50\text{mg}/\text{m}^3$  左右，其他国家  $\text{SO}_2$  的限值基本上在  $50\text{mg}/\text{m}^3$ – $400\text{mg}/\text{m}^3$  左右，本标准对新建焚烧处置设施  $\text{SO}_2$  的限值规定为  $200\text{mg}/\text{m}^3$ 。

(4) 欧洲国家 HCl 排放限值基本上为  $10\text{mg}/\text{m}^3$ – $70\text{mg}/\text{m}^3$  左右，本标准规定为  $50\text{mg}/\text{m}^3$ 。

(5) 美国  $\text{NO}_2$  的限值为  $12\text{mg}/\text{m}^3$ – $191\text{mg}/\text{m}^3$ ，其他国家  $\text{NO}_2$  的限值基本上为  $100\text{mg}/\text{m}^3$ – $500\text{mg}/\text{m}^3$  左右，本标准对新建焚烧处置设施规定为  $400\text{mg}/\text{m}^3$ ，有些偏高。

(6) 欧洲国家 HF 的限值为  $1\text{mg}/\text{m}^3$  左右，其他国家 HF 的限值基本上为  $1\text{mg}/\text{m}^3$ – $5\text{mg}/\text{m}^3$  左右，本标准对新建焚烧处置设施规定为  $2\text{mg}/\text{m}^3$ ，与国外相近。

(7) 在二噁英方面，国外情况比较复杂，随着履约进程的加快，世界各国均有加严的趋势，其中欧盟一般为  $0.1\text{ ng TEQ}/\text{m}^3$ ，并根据废物的规模和废物类型有所差别，这一点值得中国借鉴，本标准对新建焚烧处置设施规定为  $0.1\text{ ng TEQ}/\text{m}^3$ ，与发达国家一致。

(8) 在金属污染物的控制方面，各国的管理情形不尽相同，但是我国的要求大体与欧美两国现有的焚烧设施要求相当，但有些与他们对新建的焚烧设施的要求还有一定的差距。

总的来看，现行《危险废物焚烧污染控制标准》修订后，针对新源以及现有源的最终控制指标总体接近国外发达国家水平，这是与我国全面推进《全国危险废物和医疗废物处置设施建设规划》的成果密不可分的。因此，在经济、技术条件允许的情况下，污染物的排放标准也应向发达国家严格要求方向靠拢符合时代发展的趋势，也适合中国当前国情。

## 8 我国危险废物焚烧污染控制标准修订技术可行性分析

《危险废物焚烧污染控制标准》(GB18484-2001)自2001年1月份颁布实施以来，成为指导我国危险废物焚烧全过程的规范性文件之一。该标准从危险废物处理过程中环境污染防治的需要出发，规定了危险废物焚烧设施场所的选址原则、焚烧基本技术性能指标、焚烧排放大气污染物的最高允许排放限值、焚烧残余物的处置原则和相应的环境监测等。为除易爆和具有放射性以外的危险废物焚烧设施的设计、环境影响评价、竣工验收以及运行过程中的污染控制管理提供了重要依据。随着科技的进步，环境科学技术尤其是焚烧尾气污染控制技术在全国范围内的广泛应用，使制定更加严格的焚烧污染控制标准，更好的控制危险废物焚烧过程产生的污染成为可能。

### 8.1 危险废物焚烧配伍技术

危险废物在投入焚烧炉处置之前应进行必要的预处理。预处理除必要的固体废物破碎、液体废物的沉降与过滤外，最重要的环节是按设计的方案进行废物配伍。其主要目的是：

- 使入炉的废物保证总体均匀，以保证焚烧过程稳定；
- 使主要有毒有害物质、重金属、有机氯的含量不超过焚烧炉设计指标(许可证核定的指标)的上限值；
- 使入炉废物的热值在焚烧炉设计工况要求的范围之内。

废物配伍主要依照废物的组份、灰分、热值等参数，以及各批次废物的分析数据，通过计算制定配伍方案。目前国内外普遍采取混合、充分搅拌等方法使得配伍后的废物中主要有毒有害物质、重金属、有机氯等尽可能分布均匀，并保证其含量满足焚烧炉设计的焚毁去除率、重金属去除率、氯化氢去除率及热值等指标的要求。

按照焚烧处置设施设计的主要有毒有害物质焚毁去除率指标，当长时期运行所投入废物中主要有毒有害物质含量接近一致时，可有效保证焚毁去除率稳定达标；按照焚烧处置设施设计的重金属和氯化氢的去除效率指标，当长时期运行所投入废物中重金属和有机氯含量接近一致时，可有效保证烟气排放中重金属和氯化氢稳定达标；按照焚烧处置设施设计的工况参数、辅助燃料的配给条件，当长时期运行所投入废物的热值接近一致时，可有效保证焚烧处置稳定达标运行。

## 8.2 危险废物焚烧运行工况控制技术

影响危险废物焚烧处置设施运行工况的关键因素分别是燃烧温度、停留时间、混合强度、过剩空气。这四个因素并非独立的参数，而是相互影响的。要达到理想的运行状态，达到理想的处置效果，要综合考虑上述四种因素，维持一种综合的稳定状态方可称为稳定运行。

燃烧温度的控制主要包括一段炉和二段炉，运行过程中可通过保证入炉废物均匀、调整配风量及引风、设置自动燃烧器、监测炉内外温度、自动控制等技术方法来实现。

停留时间包括一段炉内的物料停留时间和二段炉内的烟气停留时间，运行过程中可通过调整进料速率、回转窑转速、排式焚烧炉推杆动作时间等，来控制废物在一段炉内的停留时间；可通过调整进料速率、控制给风量和引风量等，来控制烟气在二段炉内的停留时间。

混合强度控制是要保证废物燃烧完全，减少污染物产生，混合程度的控制主要通过控制扰动方式实现，主要包括空气流扰动、机械炉排扰动、流态化扰动及旋转扰动等技术方法。

过剩空气控制可通过监测烟气中含氧量来自动调整给风量，以实现焚烧过程中烟气残氧量的有效控制。

针对上述四个因素，目前国内已建和待建的焚烧设施基本具备完善的控制技术手段，可实现焚烧过程中的有效控制。

## 8.3 烟尘污染物的控制技术

焚烧尾气中粉尘的主要成分为惰性无机物，如灰分、无机盐类、可凝结的气体污染物质及有害的重金属氧化物，其含量视运转条件、废物种类及焚烧炉型式而异。粉尘颗粒大小的分布亦广，直径有的大至100 μm以上，也有小至1 μm以下。除尘设备的种类主要有：重力沉降室、旋风(离心)除尘器、喷淋塔、文式洗涤器、静电除尘器及布袋除尘器等。重力沉降室、旋风除尘器和喷淋塔等无法有效去除直径为5-10 μm的粉尘，只能视为除尘的前处理设备。静电集尘器、文式洗涤器及布袋

除尘器等三类为垃圾焚烧尾气净化系统中最主要的除尘设备。

除尘设备主要利用尘粒自身的性质(重力、惯性力以及质轻、粒小等),设备的种类包括重力沉降室、旋风(离心)除尘器、喷淋塔、文丘里洗涤器、静电除尘器以及布袋除尘器等。选择除尘设备时主要考虑烟尘负荷、粒径大小、处理风量及容许排放浓度等,进行具体选择时需要进一步了解粉尘的特性,包括粒径尺寸分布、平均与最大浓度、真密度、粘度、湿度、电阻系数、磨蚀性、磨损性、易碎性、易燃性、毒性、可溶性及爆炸极限以及废气的特性,如压力损失、温度、湿度及废气其他成分等。

当焚烧炉的尾气中尘粒含量较少时,设计时不必考虑专门的去除烟尘设备,急冷用的喷淋塔以及去除酸性气体的填料吸收塔足以将粉尘含量降至许可范围。对重力除尘器、旋风除尘器以及喷淋塔等除尘效果较差,难以去除 $10\mu\text{m}$ 的尘粒,常常视为除尘的前处理设备。最主要的除尘设备主要包括文丘里洗涤器、静电除尘器和布袋除尘器三种:

### (1)文丘里洗涤器

文丘里洗涤器可以有效的去除直径小于 $2\mu\text{m}$ 的粉尘,运转温度适合于 $70\sim 90^{\circ}\text{C}$ 。典型的文丘里洗涤器由两个锥体组合而成,锥体交接部分(喉)面积较小,便于气、液的加速混合。废气从顶部进入,与洗涤液混合经喉部时,由于截面积缩小,流体的速度增加,产生高度紊流及气、液的混合,气体中夹带的粉尘混入液体中,流经喉部后,速度降低,再经气水分离器后,干净气体由顶端排出,而混入液体中的粉尘则随液体由气水分离器底端排出。文丘里洗涤器体积小,投资及安装费用低,并且适用于含有毒有害气体的除尘,可以防止易燃物质的着火,对酸性气体也具有吸附作用。但需要压差较大,抽风机的能源消耗高,并且需要处理大量的废水。

### (2)静电除尘器

静电除尘器可以有效的去除直径为 $0.25\mu\text{m}$ 的尘粒。静电除尘器可以分为干式、湿式静电集尘器及湿式电离洗涤器三种。干式静电集尘器由排列整齐接地线的集尘板及悬挂在板与板之间的带有高压( $40000\text{V}$ 以上)负电荷的电极组成。当烟气通过电极时,所含的粉尘受电极作用而带负电荷,从而被电极排斥而附着在集尘板上。粉尘的电阻系数是影响静电除尘器设计及使用效果的主要参数。如电阻系数太大,粉尘与集尘板接触后不能丧失所有电荷,容易造成尘垢的堆积;如电阻系数太小,与集尘板接触后不仅丧失原有的负电荷,并且会充电而带正电荷,反而会被带正电的板面排斥至气流中而影响除尘效果。电阻系数在 $10000\sim 10^{10}\Omega\cdot\text{cm}$ 之间的粉尘可以有效的被静电除尘器收集。电阻系数受温度的影响较大,所以操作温度必须保持在设计温度范围内。湿式静电集尘器是对干式设备的改良,它增加了进气喷淋系统及湿式集尘板面,从而不仅可以降低进气温度,吸收部分酸气,还可以防止集尘板面尘垢的堆积,同时它的除尘效率还不受电阻系数的影响。但它受气体流量的影响较大,同时产生的大量废水需要处理。湿式电离洗涤器是将干式及湿式洗涤技术结合而发展起来的设备,由高压电离器及交流式填料洗涤器组成,它具有干式及湿式静电除尘器所具有的优点,但同样也产生废液需要处理。

### (3)布袋除尘器

布袋除尘器由排列整齐的过滤布袋组成。废气通过过滤滤袋时粒状污染物附在滤层上，再定时以振动、气流逆洗或脉动冲洗等方式清除。其去除粒子大小在 $0.005\text{--}20\ \mu\text{m}$ 范围，压力降在 $1\text{--}2\text{KPa}$ ，除尘效率可达99%。近年来滤布材质大有改进，对于温度、酸碱及磨损的抵抗力均大为增强，并且滤布对重金属及微量有机化合物均有良好的去除效果，通过在滤布表面覆盖石灰等碱性物质等也可以去除酸性气体，所以，近年来布袋除尘器广泛应用于焚烧厂后续烟气污染物的净化去除上。

## 8.4 酸性气体污染物的控制技术

用于控制焚烧厂尾气中酸性气体的技术有湿法、半干法及干法等三种脱酸方法。以下分别说明。

**湿式洗气法：**焚烧尾气处理系统中最常用的湿式洗气塔是对流操作的填料吸收塔，尾气与向下流动的碱性溶液不断地在填料空隙及表面接触、反应，使尾气中的污染气体被有效吸收。常用的吸收药剂(碱性药剂)主要有NaOH溶液(15%–20%，质量分数)或 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 溶液10%–30%，质量分数)。洗气塔的碱性洗涤溶液采用循环使用方式，当循环溶液的pH值或盐度超过一定标准时，排泄部分补充新鲜的NaOH溶液，以维持一定的酸性气体去除效率。排出液中通常有很多溶解性重金属盐类(如 $\text{HgCl}_2$ 、 $\text{PbCl}_2$ 等)，氯盐浓度亦高达3%，必须予以适当处理。湿式洗气塔的最大优点为酸性气体的去除效率高，对HCl去除率为98%， $\text{SO}_x$ 去除率为90%以上，并附带有去除高挥发性重金属物质(如汞)的潜力。其缺点为造价较高，用电量及用水量亦较高，为避免尾气排放后产生白烟现象需另加装废气再热器。此外，湿式洗气法产生的含量金属和高浓度氯盐的废水需要进行处理。

**干式洗气法：**是用压缩空气法将碱性固体粉末(石灰或碳酸氢钠)直接喷入烟管或烟管上某段反应器内，使碱性消石灰粉与酸性废气充分接触和反应，从而去除酸性气体。为了提高反应速率，实际碱性固体的用量约为反应需求量的3–4倍，固体停留时间至少需1s以上。干式洗气塔结合布袋除尘器组成的干式洗气工艺是尾气净化系统中较为常见的组合工艺，设备简单，维修容易，造价便宜，消石灰输送管线不易阻塞，但由于固体与气体的接触时间有限且传质效果不佳，常须超量加药，药剂的消耗量大，同其他两种方法相比，干法的整体去除效率也较低，产生的反应物及未反应物量亦较多，最终需要妥善处置。

**半干式洗气法：**实际上是一个喷雾干燥系统，利用高效雾化器将消石灰浆液从塔底向上或从塔顶向下喷入喷雾干燥塔中。尾气与喷入的石灰浆成同向流或逆向流的方式充分接触，并产生酸碱中和反应。由于雾化效果佳(液滴的直径可低至 $30\ \mu\text{m}$ 左右)，气、液接触面大，不仅可以有效降低气体的温度，中和酸性气体，并且石灰浆中的水分可在喷雾干燥塔内完全蒸发，不产生废水。本法最大的特性是结合了干式法与湿式法的优点，构造简单，投资低，压差小，能源消耗少，液体使用量远较湿系统低；较干式法的去除效率高，也免除了湿式法产生经过多废水的问题；操作温度高于气体饱和温度，尾气不产生雾状水蒸汽团。但是喷嘴易堵塞，塔内壁容易为固体化学物质附着及堆积，设计和操作中要很好控制加水量。

目前，喷雾干燥塔结合布袋除尘器的脱酸除尘组合工艺是国内外最为广泛采用的工艺技术，美国环保局和欧盟均推荐采用此脱酸除尘工艺。

## 8.5 二噁英污染物的控制技术



### 8.5.1 二噁英产生环节

目前，有三种基本理论解释焚烧源释放二噁英的机理：

(1) 衡量的二噁英类物质存在于被焚烧的废物中，经过燃烧过程本身没有发生变化而释放出来。在控制良好的焚烧设施中，这种机理不是主要的贡献者。

(2) 从头合成，是从飞灰(包含碳、氧、氢、氯和过渡金属元素催化剂)参与的复杂反应过程形成二噁英的路径，二噁英的产量取决于反应温度。已经观察到 325℃左右产生最大量的二噁英的现象。

(3) 前体物合成，二噁英是通过前体物的分子重排和热力学分解而最终形成，这些物质包括那些和二噁英具有类似分子结构的氯代芳香烃及其他有机化合物，前体物主要是在焚烧过程中不完全焚烧及飞灰表面异相催化反应的产物，在相对高温(400-750℃)区域产生，后来在低温区域(300-500℃)进一步反应形成的。

在焚烧过程中，主要有三个与二噁英相关的阶段，分别为初始生成、高温分解和后期合成，其中一、三阶段都应尽量避免二噁英的产生，高温分解则是消除二噁英的主要阶段。

#### ● 初期生成阶段

由于医疗废弃物中存在二噁英的前体 HCL 及含苯氯化物，在必要的催化剂和适合的温度(250-550℃，其中最佳生成温度 300-500℃)作用下，就会生成二噁英。影响反应的主要因素有：前体物的浓度，在 250-500℃温度范围内停留的时间，催化剂的存在。

#### ● 高温分解阶段

随着焚烧过程中温度的升高，到 750℃左右，其中分子量较大的二噁英类物质在高温燃烧过程中开始分解，但热稳定性较好的氯苯类(如 C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>CL)不易分解。随着燃烧的进行，这类物质会进行激烈的游离基反应而生成(C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>CLOH)等物质。在二噁英类物质中主要化学键有 C-C、C-CL、C-O、C-H 等几种。二噁英的热分解分以下三个步骤：C-CL 键首先由于键能较低而断裂(温度一般在 750℃左右)；其次 C-O 键断裂(温度一般在 800℃左右)；其中这两步只是减少了二噁英类物质，但是大大增加了二噁英前体物的浓度，即增加了后期合成的几率。最后是完全分解(温度一般在 1000℃左右)。目前研究认为：在 850℃左右炉膛内停留时间达到 2 秒，或是 1000℃左右在炉膛内停留时间达到 1 秒，或是 1200℃左右在炉膛内停留时间几微秒即被认为二噁英完全分解。若是温度控制在 1200℃以上，生成物中将几乎不包含二噁英前体物，大大降低后期重新合成几率。因此，本阶段主要因素是炉膛内的温度。

#### ● 后期合成阶段

当排烟温度冷却到 500-300℃时，在 CuCL<sub>2</sub>、FeCL<sub>3</sub>等催化剂的作用下，C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>CL、C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>CLOH 等前体物质会重新组合生成二噁英。对于苯来说，在温度 300-400℃的还原性气氛中，在催化剂的作用下还会生成氯苯类。同时，在激烈的燃烧过程中，存在大量的活性 OH 游离基，假如反应时间足够，那么新生成二噁英的条件在尾气低温阶段都将具备。

**另外就是残渣问题：**据 USEPA 对 7×10<sup>6</sup>t 残渣的调查，二噁英的浓度为 106-466ngTEQ/kg，平均 258 ng/kg，飞灰中的浓度要高于底渣，Hutzinger 等<sup>1</sup>的报告中提到飞灰中二噁英的浓度达到 1.3

×10ngTEQ/kg。根据朝鲜的研究，飞灰和排放烟气中二噁英 s 存在线性关系，结果为飞灰中二噁英的浓度是 0.13-21 ngTEQ/g。

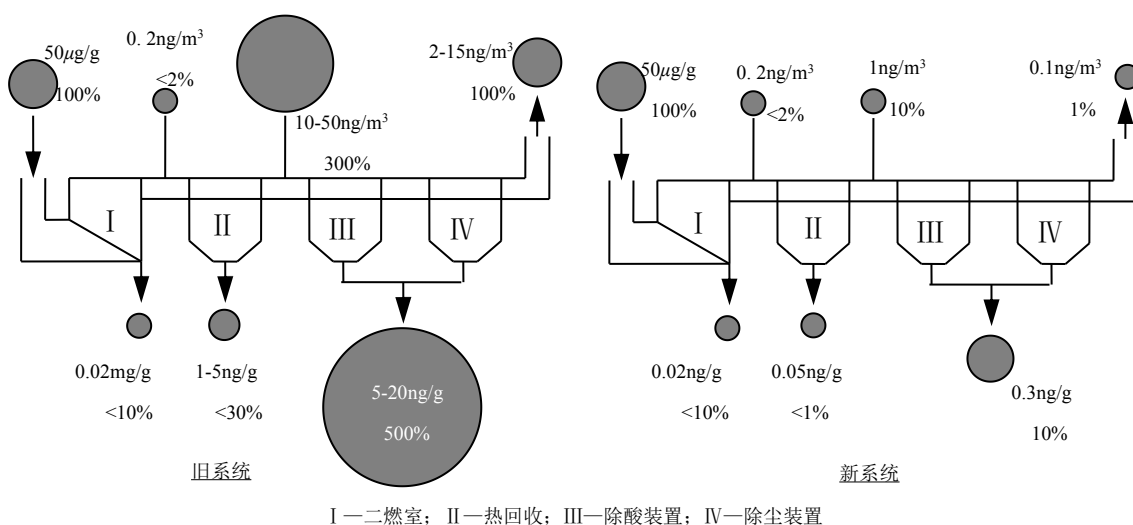


图 8-1 新旧焚烧处置系统二噁英浓度及其分配情况

根据 IAWG 组织的调查，对于旧焚烧处置系统，底渣和飞灰中的二噁英浓度分别为 20 μgTEQ/g 和 5-20ngTEQ/g。对于新焚烧处置系统，底渣和飞灰中的二噁英浓度分别小于 0.02ngTEQ/g 和小于 0.3ngTEQ/g。

综上所述，危险废物焚烧飞灰也是一个不容忽视的方面。要求残渣中的二噁英浓度不超过 1 ngTEQ/g，飞灰中的二噁英浓度小于 0.3ngTEQ/g，底渣(包括焚烧炉和热回收装置产生的废物)中的二噁英浓度在 0.02-0.05ngTEQ/g 左右。飞灰按照危险废物进行处理，当底渣中二噁英的浓度高于 0.3ngTEQ/g 时，同样按照危险废物进行处理。

### 8.5.2 二噁英控制措施

根据上述二噁英产生初期生成、高温分解、后期合成的三个阶段，可以归纳二噁英生成必要条件：氯源、二噁英前体和催化剂的存在；燃烧过程中的不良燃烧组织；低温烟气阶段的存在。因此，危险废物焚烧排放的二噁英应在初始生成和后期合成阶段尽量避免二噁英的产生，而在高温分解阶段尽量消除。BAT/BEP 是减少副产物类 POPs-二噁英排放的有效技术，其实施应贯穿从源头的分离到尾气处理的整个过程的始终。

如果在焚烧系统高温区物料均匀、燃烧稳定、供氧充足、并且停留时间充分，那么从头合成形成二噁英的量将达到最小化，大多数的二噁英和它的前体物在焚烧炉的高温燃烧室被破坏。具体步骤包括以下几个方面。

#### (1) 危险废物源头产生的最小化

危险废物最小化是一种从源头解决危险废物焚烧处置产生污染最小化的根本方法，即危险废物的排放必须减到最小。只有在每个产生危险废物的环节都采取措施保证危险废物的量和危险性达到最小，这个目标才能实现。只有在源头减少二噁英产生的氯源才能保证减少其排放，同时也减轻了后序处理的负荷。

在我国危险废物焚烧尤其是医疗废物焚烧处置的源头氯源控制与国外发达国家存在着很大的

差距，这也是导致我国危险废物焚烧处置尾气治理难度比较大和无法达标的主要原因。欧美国家和其他一些发达国家在医用制品上采用的原材料主要是聚乙烯而我国主要采用的是聚氯乙烯；欧美国家和其他一些发达国家在医疗废物的包装上使用的是纸板箱，是连同医疗废物一同焚烧处置的，而我国是采用清洗消毒箱和医疗废物包装袋，而且包装袋是连同医疗废物一同焚烧的，这两方面大大减少了发达国家的危险废物焚烧过程中的氯源产生量，也就降低了尾气治理的费用，因此加强源头控制是实现我国危险废物焚烧尾气污染控制的前提条件。

## (2) 严格有效的焚烧过程控制

高温分解阶段是我们控制二噁英排放的主要阶段，保证一个温度特别高的区域(850 以上)，在组织良好燃烧工况下，一方面抑制了二噁英的生成，另一方面保证充分的传热和传质，使二噁英有机前体在这个区域内进行充分的氧化燃烧，从而尽可能的消除二噁英的再合成性。很多焚烧炉都具有后续燃烧措施(二燃室)，后续燃烧的温度一般控制在至少 950℃，以确保有机化合物的完全燃烧。

焚烧过程中还应注意的是氧含量和低温区。只有具有充分的氧气才能使有机污染物得到充分的氧化从而消除毒性；而低温区是燃烧室内焚烧条件不均匀造成的，低温区(小于 850℃)的存在造成有机污染物的不充分燃烧，最终导致大量二噁英的排放。因此，严格控制焚烧过程的运行参数是保证二噁英减排的有效方法。

后期合成控制即为了尽可能减少二噁英的合成几率，扼制焚烧烟道气在净化过程中的再合成，一般采用控制烟气温度的方法。通常是当具有一定温度的(此时温度不低于 500℃为宜)焚烧烟道气从锅炉排除后采取急速冷却技术使烟气在 0.2 秒内急冷到 200℃以下(通常为 100℃左右)，从而跃过二噁英的生成温度区。同时烟气净化过程中需采取一定的措施保证无二噁英生成环境的存在。

### ① 焚烧温度

焚烧温度太低不能对废物进行充分的破坏，产生二噁英；温度太高，浪费燃料，同时促进重金属的挥发和氮氧化物的合成。一燃室是燃烧或热解作用，二燃室是实现完全燃烧。由于其功能不一，其焚烧温度也应区别规定。

焚烧温度须考虑的因素：二噁英，废物的着火点，氯的含量，氮氧化物，DRE，CE 和其他因素。下面从上述因素分析焚烧温度的最佳值及其范围。

焚烧最严重的问题就是会产生大量二噁英等物质，据估计，环境中 50%的二噁英来自于焚烧。而工况的优化，尤其是焚烧温度，是控制二噁英产生有效途径之一。二噁英产生机理有三种：①是废物本身含有二噁英，② 从头合成：前体(如多氯苯酚)在焚烧当中生成二噁英，③是由相关但无毒的小分子(如 HCl, Cl<sub>2</sub>)再合成。焚烧炉阶段主要是破坏机理①和机理②产生的二噁英(包括产生的前体物质)。目前的研究来看，对废物本身含有的二噁英，理论上破坏温度是 500℃，当实际运行温度大于 850℃，停留时间超过 2s 时，二噁英破坏率大于 99.99%。实验证明，当焚烧温度在 500-800℃ 之间时，会促进二噁英的产生，由图可知当温度大于 900℃ 时，会破坏二噁英的产生，无 PCDF 产生，二噁英的含量急剧下降，当温度在 1070℃ 左右，几乎无二噁英存在。从头合成的前体物在 400-750℃ 产生。

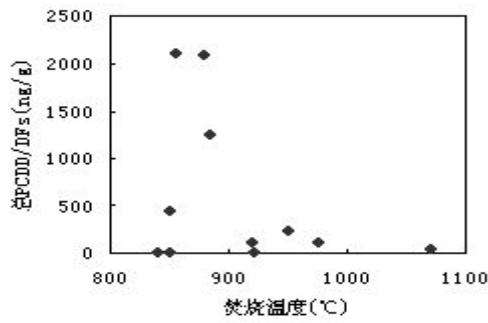


图 8-2 二噁英与高温焚烧的关系

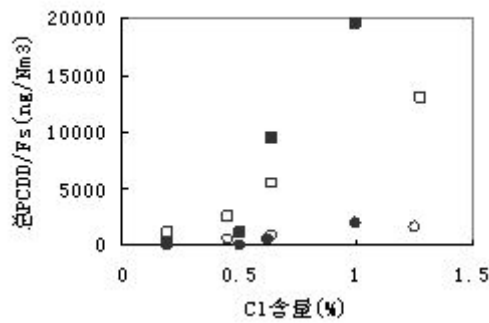


图 8-3 Cl<sub>2</sub>含量与二噁英的关系

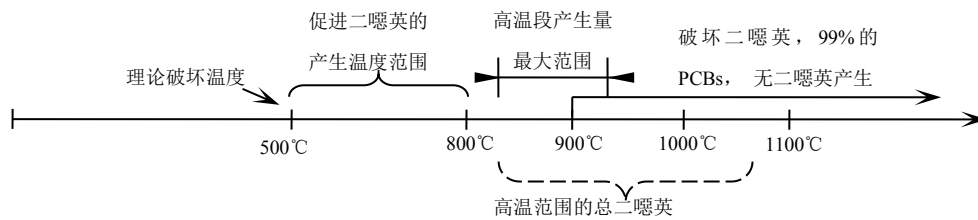


图 8-4 高温焚烧与总二噁英关系数轴图

废物中氯的含量是影响二噁英产生量的重要参数，然而两者的数量关系还没有得到确定。Hatanaka 等人研究 Cl 含量和总二噁英的关系，可知在 Cl 的含量低于 1% 时，总二噁英随着 Cl 的含量增加而增加，直到 Cl 含量等于 1%。Wikstrom 等指出当 Cl 的含量低于 0.8-1.1% 时，主要是产生二噁英，二噁英的含量与 Cl 的含量没有关系；当 Cl 的含量超过 0.8-1.1% 时，主要是产生 PCDFs，同时二噁英的增加速度会提高。目前医疗废物中 Cl 的含量为 1.1-2.1% (按质量计)，大多数的石油燃料中 Cl 的含量是 0.1%。

当温度超过 1200°C，会大量产生 NO<sub>x</sub>，腐蚀设备，增加运行成本。当一燃烧室的温度超过 870°C 时，金属污染物会释放到二燃烧室，而挥发的金属污染物 (如 Cu 化合物) 是二噁英的催化剂。当二燃烧室温度在 870°C 以上 CE 最高。当温度达到 870°C 时可以充分燃烧所有废物。

美国、欧盟等国家或组织对一、二燃室的焚烧温度都进行规定。建议一燃室的温度不低于 850°C，最佳温度范围为 850-870°C，二燃室的温度为 1100°C，最佳范围为 1000-1200°C，但当卤化物含量超过 1% (质量) 时，温度要求达到不低于 1100°C。

表 8-1 各国和欧盟一燃室和二燃室的焚烧温度

国家或组织	一燃室温度	二燃室温度	备注
美国	≥980℃	——	当含氯化物时，温度≥1200℃(二燃室)
保加利亚	≥850℃	≥1100℃	同欧盟
意大利	≥950℃	——	当含 Cl <sub>2</sub> 时，温度≥1200℃(二燃室)
丹麦	≥875℃	——	——
欧盟	≥850℃	≥1100℃	当卤化物含量超过 1%(质量)时，温度要求达到 1100℃

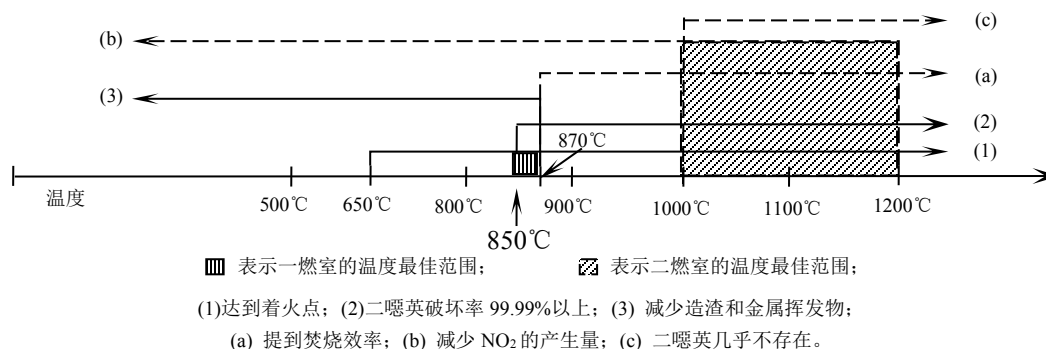


图 8-5 一燃室和二燃室的温度与相关因素之间的数轴关系图

### ②停留时间

停留时间决定了焚烧效果和炉体容积尺寸。停留时间太短，废物和烟气燃烧不充分，DRE 和排放烟气不达标；停留时间过长，则炉体尺寸过大，成本增加。

烟气停留时间和焚烧温度是成反比关系的。目前美国，欧盟等国家或组织规定的烟气停留时间都是大于 2s，而且它们焚烧炉运行情况良好，说明此停留时间能够保证危险废物焚烧效果。但在焚烧系统启动阶段，焚烧不够充分的前提下，可以考虑暂时延长二燃烧室的烟气停留时间。

综上所述，二燃室的烟气停留时间应该大于 2s，同时考虑焚烧系统启动阶段，须根据实际情况延长停留时间。

### ③湍流程度

湍流程度是指焚烧炉中流态程度。如果湍流程度不够，则受热不均匀，焚烧效果差；湍流程度剧烈，混合及加热均匀，但增加了运行成本。为了保证充分燃烧，建议雷诺数大于 10000，当雷诺数大于 50000 时，焚烧效率会更高。

### (3)尾气净化

焚烧炉产生的烟道气包括含有重金属的飞灰(颗粒物)，二噁英，耐热有机化合物，以及如氮氧化物，碳氧化合物和卤化氢之类的气体，由无控制模式(无烟道气净化)产生的烟道气浓度约为 2000ng TEQ/m<sup>3</sup>(联合国环境规划署二噁英工具包)。因此对烟道气进行净化处理，下列烟道气净化措施必须与适当的方式联合使用，以保障最佳可行技术的应用：

#### ①粉尘和非挥发重金属的分离

常使用纤维滤膜，静电除尘器以及精细湿式洗刷器进行粉尘的分离；烟道气的预清洗可以使用旋风除尘，这对大粒径的粒子的分离较有效。

#### ②HC、HF、SO<sub>2</sub>和 Hg 的去除

酸性组分和汞的去除可以使用干、湿吸附法，（包括活性炭或石灰）也可以通过洗刷（1 到 2 个步骤的洗刷）

### ③NO<sub>x</sub> 的去除

一次措施包括低 NO<sub>x</sub> 燃炉的使用，阶段燃烧和管道的回用，二次措施湿 SNCR 和 SCR。

可以通过一次措施（比如限制其全过程合成，优化燃烧）和二次措施，像粉尘分离（见上），活性炭滤膜，活性炭/炉焦炭和消石灰的射流，催化氧化，来减少有机物和二噁英的排放。

### ④避开敏感温度区间

合理的烟气净化系统是烟气达标排放的保证。该系统主要是控制机理②和③产生的二噁英，还有酸性物质和颗粒物。300-500°C 之间是二噁英从头合成最佳温度范围，其中 400°C 产生速度最快，为了保险起见，180-550°C 为产生二噁英的敏感区间。Addink 等研究表明，在 250-350°C 之间是二噁英再合成最佳温度范围，其中 300°C 时产生量最多。

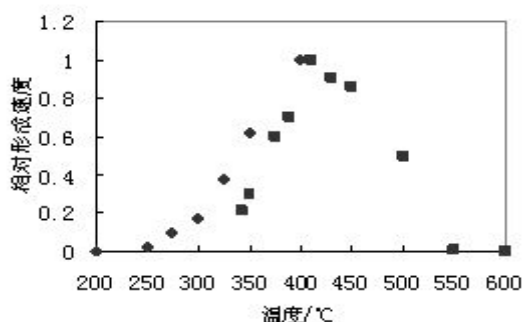


图 8-6 温度与二噁英从头合成速度关系

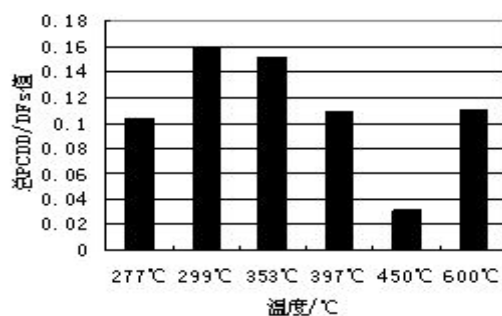


图 8-7 温度与再合成二噁英的关系

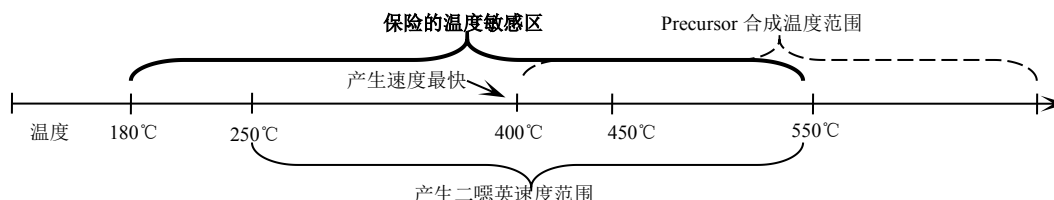


图 8-8 从头合成二噁英情况数轴图

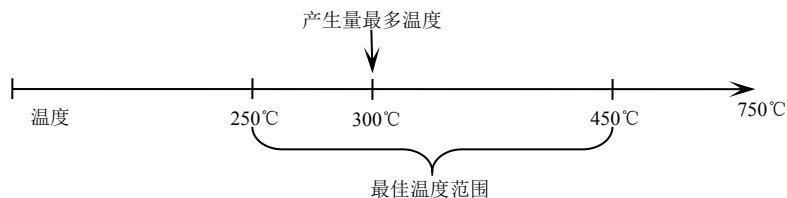


图 8-9 De Novo Synthesis 合成二噁英情况数轴图

危险废物还有 PVC 和一些卤素酸性物质会产生 HCl，另外布袋除尘器对酸性物质比较敏感，有必要采用除酸装置。焚烧会产生大量的颗粒物，直接排出会污染环境，同时颗粒物是二噁英再合成有效的载体，有必要采用高效的除尘装置。急冷装置、除酸装置和除尘装置是烟气净化系统不可少的组成部分。

为了使烟气在短时间内急剧降温，急冷设备的关键指标是烟气停留时间，以此避免在 180-550°C 之间的温度区间，尤其是 200-350°C 之间。

对于水急冷系统，从热转化的角度考虑冷却速度在 250-500K/s，建议在 400-250°C 间冷却速度在 350K/s。所以急冷设备中烟气温度从 180 降到 550°C 所需的停留时间为 0.74-1.48s。停留时间长则相对二噁英产生量多，但喷水量少；停留时间短则相对二噁英产生量少，但喷水量多。

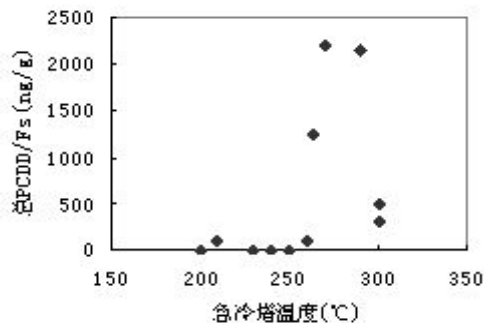


图 8-10 二噁英与急冷塔温度的关系

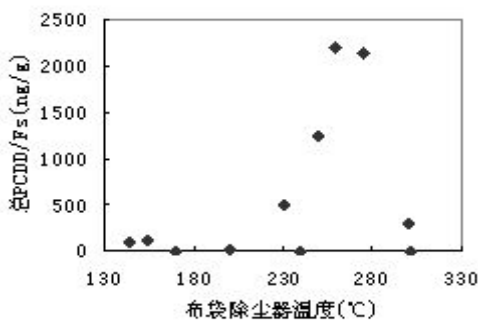


图 8-11 二噁英与布袋除尘器温度的关系

除酸装置的关键是工艺的选择，其中可供选择的工艺有干法、半干法和湿法。对比来看，干法工艺去除效率不如后两种。虽然湿法工艺去除效率比半干法工艺好，但是耗能耗水量大，还产生废水，投资和运行成本相应的昂贵。半干法工艺的处置效果良好，费用较低，是除酸工艺的最佳选择。

表 8-2 除酸装置的干法、半干法和湿法工艺比较

种类	去除效率		药剂消耗量	耗电量	耗水量	建造费用	运行费
	单独	配合布袋除尘器					
干法	50%	95%	120%	80%	100%	90%	80%
半干法	90%	98%	100%	100%	100%	100%	100%
湿法	99%	—	100%	150%	150%	150%	150%

除尘装置的关键有两个：一则设备选择；二则工况设定。除尘设备包括文式洗涤器、静电除尘器 (ESP) 及布袋除尘器 (FF) 等。

表 8-3 文式洗涤器、静电除尘器及布袋除尘器性能比较

种类	效率 (%)	有效去除颗粒直径 ( $\mu\text{m}$ )	单位气体需水量 ( $\text{L}/\text{m}^3$ )	体积	气体变化流量影响		工作温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )
					压力	效率	
文式洗涤器	90-98	0.5	0.9-1.3	小	是	是	70-90
静电除尘器	90-98	0.25	0	大	否	是	—
布袋除尘器	95-99	0.4 <sup>a</sup> /0.25 <sup>b</sup>	0	大	是	否	100-250

注：a-传统式；b-反转喷射式。

ESP 工作温度不适合，该处置效果不如 FF。文式洗涤器最大的弊端就是产生废水，需要进行二次处理。FF 效率高、不产生二次污染。

布袋除尘器的关键工况指标包括工作温度，活性炭吸收剂流量。Shin 和 Chang 等研究报道：即使是布袋，在高于  $230^{\circ}\text{C}$  时也会有高的二噁英产生。Brewster 等研究到：当仅采用布袋除尘器时，控制温度在  $200^{\circ}\text{C}$  的区域，可以控制二噁英在  $1\text{TEQng}/\text{Nm}^3$ ，如果控制温度低于  $200^{\circ}\text{C}$ ，可以控制二噁英在  $0.1\text{TEQng}/\text{Nm}^3$ ，如果还添加活性炭吸收剂，则可维持二噁英在  $0.1\text{TEQng}/\text{Nm}^3$  以下。当然，布袋除尘器的工作温度有底线，必须保证高于烟气露点温度  $20-30^{\circ}\text{C}$ 。

综上所述，急冷设备中在  $180-550^{\circ}\text{C}$  之间烟气停留时间可以规定为小于 1s，实际当中综合考虑二噁英产生量、经济性等因素。除酸装置优先采用半干法工艺。布袋除尘器的工作温度在  $200^{\circ}\text{C}$  以下，最好在  $120-150^{\circ}\text{C}$ 。活性炭(可回流)的流量在  $50\text{mg}/\text{Nm}^3$  左右，该条件下二噁英的去除率达 99.5%。

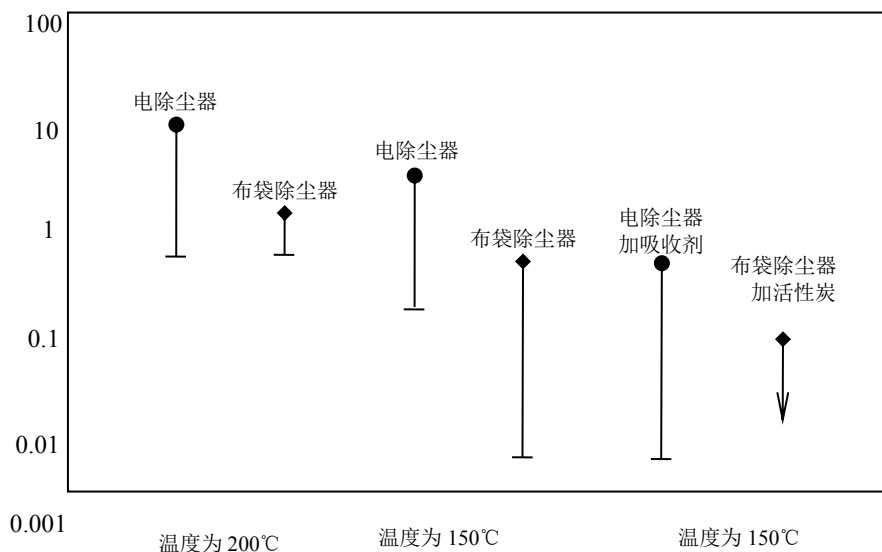


图 8-12 除尘装置和二噁英浓度的关系



### 8.5.3 二噁英减排途径

根据联合国环境规划署 POPs 公约秘书处制定的《最佳可行技术(BAT)与最佳环境实践(BEP)指南》(基于 POPs 公约第 5 条附件 C)，并对国际医疗废物和危险废弃物处理和处置现状进行分析可知，减排二噁英主要有两大措施：

一是对现有焚烧设备通过《最佳可行技术(BAT)与最佳环境实践(BEP)指南》的要求采用 BAT/BEP 来达到减排的目的；二是采用替代技术从根本上做到不排放二噁英的目的(替代技术包括高温蒸汽、微波和化学消毒等，因并非本标准重点，细节不再赘述)。以上两种主要措施的采用，一定要视现有设备的现状、二噁英的排放现状、将来的环境要求等来确定。

#### (1) 直接减排-焚烧设备采用 BAT/BEP 实现二噁英减排措施

焚烧技术是危险废弃物和医疗废物处理中较为成熟的一种，也是处理医疗废物的国际主流技术，其中下列焚烧工艺被认为是危险废弃物处理的最佳可行技术：高温分解、回转窑、炉床焚烧炉和流化床焚烧炉。

我国危险废弃物焚烧炉大多是在《规划》颁布实施前和 POPs 公约签订前建成的，设计时均采用当时我国二噁英的环境排放标准 $0.5 \text{ ng TEQ/m}^3$ 。我国现有医疗废物处置焚烧炉多为“非典”时期紧急建立起来的，设计时均采用当时我国二噁英的环境排放标准 $0.5 \text{ ng TEQ/m}^3$ 。而最近的一份关于危险废弃物医疗废物处理设施的调查中显示：我国大多数焚烧炉都存在着吃不饱、排放不达标、管理松懈等问题。也就是说，我国大多危险废弃物焚烧炉的二噁英的环境排放远远大于现行环境排放标准 $0.5 \text{ ng TEQ/m}^3$ ，如将其排放标准提高至 $0.1 \text{ ng TEQ/m}^3$ ，我们应从炉膛的改造措施、监控设备的增设和改造以及烟气净化装置的改进和增设相应设施等角度出发进行技术升级和改造。

#### (2) 二噁英减排技术组合

##### ① 回转窑焚烧炉减排技术组合

实现回转窑减排的具体技术要求为：

##### ➤ 危险废弃物配伍和预处理

对于处理氟、氯等元素含量较高的危险废弃物，应考虑耐火材料及设备的防腐问题。对于用来处理含氟较高或含氯大于 5% 的危险废弃物焚烧系统，不得采用余热锅炉降温，其尾气净化必须选择湿法净化方式。

危险废弃物入炉前需根据其成分、热值等参数进行搭配，宜控制在：废物热值  $2500\text{--}3300\text{kcal/kg}$ ， $\text{CL}\% \leq 4\%$ ， $\text{S}\% \leq 3\%$ ，其它卤素  $\leq 1\%$ ， $\text{PH} \geq 6.5$ ，重金属含量应以尾气净化系统消纳量为依据合理搭配，以保障焚烧炉稳定运行，降低焚烧残渣的热灼减率。危险废弃物的搭配应注意相互间的相容性，避免不相容的危险废弃物混合后产生不良后果。

危险废弃物入炉前应酌情进行破碎和搅拌处理，固废破碎最大粒度宜控制在  $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 200\text{mm}$  以内，破碎机可将不可破碎的物体排出，能在过载时保护部件和驱动装置，可拆卸刀头，可快速更换；搅拌处理使废物混合均匀以利于焚烧炉稳定、安全、高效运行。对于含水率高的废物(如污泥、废液)可适当进行脱水处理，以降低能耗。在设计危险废弃物混合或加工系统时，应考虑焚烧废物的性质、破碎方式、液体废物的混合及供料的抽吸和管道系统的布置；混合后的进炉废液 PH

宜大于 6.5，并应考虑部分液体不可混合性及分层抽吸装置。

➤ 危险废物进料

危险废物输送、进料装置应符合下列要求：

- 采用自动进料装置，进料口应配制双层保持气密性的阀门，双层阀门互为联锁，运行状态时始终有一阀门保持关闭状态；上层阀门应配有自动称重装置，进料量可受中控调节，以保证炉内焚烧工况的稳定；

- 进料时应防止废物堵塞，保持进料畅通；直接伸入回转窑的溜槽应考虑夹套设计，防止进料口过热出现反烧现象，材质优先推荐耐热不锈钢；

- 进料系统应处于负压状态，防止有害气体逸出；

- 输送液体废物时应充分考虑废液的腐蚀性、废液中的固体颗粒物堵塞喷嘴问题；强腐蚀性、危险性的液体应考虑独立特殊的进料系统。

➤ 回转窑焚烧炉的设计

焚烧炉的设计应保证其使用寿命不低于 10 年，热容强度宜控制在  $60-90 \times 10^4 \text{kJ/m}^3 \cdot \text{h}$ ，主材材质选择应不低于 Q235-A，最薄处壁厚不小于 16mm(20-30t/天炉子)，传动装置优先选用大齿轮传动、三轴变速箱，调速应采用变频方式，并应考虑检修时所用的盘窑设施，回转窑转速 0.2-2 r/min 应在驱动电机主功率区内。

焚烧炉所采用耐火材料的技术性能应满足焚烧炉燃烧气氛的要求，质量应满足相应的技术标准，能够承受焚烧炉工作状态的交变热应力，优先考虑高铝质耐火材料，回转窑耐火材料主要成分应包括  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ，其中  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量应不低于 70%、回转窑内不推荐使用保温砖，耐火材料使用寿命应不低于 8000 小时；二燃室耐火材料可考虑多层结构，应设保温层，以提高热效率，耐火材料可适当降低  $\text{Al}_2\text{O}_3$  的含量，但不应低于 40%，使用寿命不低于 36000 小时，二燃室金属壁厚应不小于 10mm。

应有适当的冗余处理能力，冗余能力应控制在 115%以内，废物进料量应可调节，进料频率宜控制在 40 次/小时左右。

焚烧炉应设置防爆门或其它防爆设施；燃烧室后应设置紧急排放烟囱，并设置联动装置使其只能在事故或紧急状态时才可启动，如：停电、引风机故障、锅炉水位超高超低、布袋除尘烟气进口超温超过一定时限、二燃室正压超允许值及其他关键设备故障时。

必须配备自动控制和监测系统，在线显示运行工况(如负压、温度、液位、流量、转速、设备状态等)和尾气排放参数(烟尘、氮氧化物、硫氧化物、 $\text{O}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{HCl}$ 、 $\text{CO}_2$ )，并能够自动反馈，对有关主要工艺参数(二燃烧室出口温度、含氧量，急冷塔出口温度等)进行自动调节。

确保焚烧炉出口烟气中氧气含量达到 6%-10%(干烟气)；应设置二次燃烧室，并保证烟气在二次燃烧室 1100℃以上停留时间大于 2s，烟气流应以最大负荷工况计算。

炉渣热灼减率应 < 5%；燃烧空气设施的能力应能满足炉内燃烧物完全燃烧的配风要求；可采用空气加热装置；风机台数应根据焚烧炉设置要求确定；风机的最大风量应为最大计算风量的 110%-120%；风量调节宜采用连续方式。启动点火及辅助燃烧设施的能力应能满足点火启动和停炉

要求，并能在危险废物热值较低时助燃。辅助燃料燃烧器应有良好燃烧效率，应配置自动温控、温限装置及火焰监测、灭火保护等安全装置，其辅助燃料应根据当地燃料来源确定。

➤ 烟气净化系统的配置

半干法净化工艺包括半干式洗气塔、活性炭喷射、布袋除尘器等处理单元，应符合下列要求：

- 反应器内的烟气停留时间应满足烟气与中和剂充分反应的要求；
- 反应器出口的烟气温度应在 130℃ 以上，保证在后续管路和设备中的烟气不结露。

湿法净化工艺包括骤冷洗涤器和吸收塔(填料塔、筛板塔)等单元，应符合下列要求：

- 必须配备废水处理设施去除重金属和有机物等有害物质；
- 为了防止风机带水，应采取降低烟气水含量的措施后再经烟囱排放。

烟气净化装置应有可靠的防腐蚀、防磨损和防止飞灰阻塞的措施。酸性污染物包括氯化氢、氟化氢和硫氧化物等，应采用适宜的碱性物质作为中和剂，在反应器内进行中和反应。维持除尘器内的温度高于烟气露点温度 30℃ 以上。袋式除尘器应注意滤袋和袋笼材质的选择，优先选用带覆膜的滤袋，但应根据烟气中腐蚀性气体组分合理选用滤袋基料，袋笼优先推荐不锈钢材质；除尘器底部应配备加温装置，外部应设保温，应具有离线自动清灰功能。优先采用分离线室低压脉冲清灰的长袋除尘器，以全气计的气布比不大于 0.8m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>/s，袋滤选用覆四氟乙烯滤料，滤布具有较好的抗水解、抗氧化、耐高温、耐折断、耐酸碱性能。

焚烧废物产生的高温烟气应采取急冷处理，使烟气温度在 1.0 秒钟内降到 200℃ 以下，减少烟气在 200-600℃ 温区的滞留时间；急冷装置设备材质优先推荐 316L 材质，壁厚不低于 8mm，并应考虑设备内结垢清除装置和设备保温；急冷雾化喷嘴优先选择双流体喷嘴，316L 材质，雾化液体颗粒的邵特平均直径(SMD)应小于 140um，最大颗粒直径应小于 200um。

采用回转窑焚烧处理危险废物时，实现二噁英减排可采取的技术组合如表 8-6 所示。

表 8-6 回转窑焚烧二噁英减排技术组合

途径	目的
增加二燃室	保证>2 秒的停留时间
尾气排放—炉温—空气调节反馈控制系统	保证足够的氧气含量和足够的焚烧炉温度
进料配伍热值、含氯量分析控制系统	控制燃烧过程稳定，控制含氯量
增加自动加料系统	保证进料稳定
增加烟道气回用管道	排气的高度混合以及减少过量空气：
增加急冷装置	保证烟气 200-500℃ 温度区间停留小于 1 秒，避免二噁英类物质再生成
在线监测措施及反馈控制系统	及时掌握尾气排放状况并适时调整焚烧工况
增加配置袋式除尘器	除去吸附有二噁英的粒子
增加配置活性炭喷射或活性炭床吸附	进一步吸附二噁英
配置滤膜飞灰洗涤系统	清洗飞灰并妥善收集
飞灰的固化填埋	最终处置吸附的二噁英

(2) 热解焚烧炉

热解焚烧技术分为竖式连续热解、间歇运行 AB 炉、卧式连续热解，这三类热解技术工艺差异

较大，每类技术有其自身的技术参数和要求，需要加强研究、归类比较。对于废物规模能够得到保障的，连续焚烧具有一定的优势。若热解焚烧技术设备在运营过程中烟气量波动较大，实际上对尾气处理工艺造成较大的被动，使尾气处理稳定达标排放难以保障。按照上述设想，对照 BAT/BEP，对热解焚烧实现尔恶英减排的具体技术要求包括：

- 工况稳定
  - 稳定燃烧，即物料、产气量、温度等尽可能维持在一个平衡点附件，避免较大的波动，尽可能使实际运营状态逼近设计状态。在条件可能时，尽可能实现连续热解；
  - 热解和焚烧分离，避免相互干扰。严格控制热解区助燃空气量、热解温度及废料热解停留时间；
  - 在运营中确保稳定进料、物料平衡，不造成较大波动，物料热值不宜太大，以免造成二燃室热负荷过大
    - 产气量保持基本稳定，均匀产气，否则系统喷水急冷水量过大、过小；
- 热解炉的设计
  - 焚烧装置应有明确的热解区和燃烬区，残渣燃烬区提供足够的空气、燃烧温度和停留时间，尽可能实现燃烬，保证灰渣指标达标。
    - 由于燃烧过程主要发生在二燃室，其耐温要求应在 14000℃，且容积应按照最大产气量时停留 2.6 秒左右进行考虑，散热条件好。
- 尾气净化工艺的配置
  - 尾气处理工艺优先考虑干法或半干法；
  - 回转窑中一些技术途径和要求也适合于热解焚烧炉。
- 良好的工艺自控
  - 适宜将二燃室温度变化范围控制在+100℃以内，能自动调节，系统设定关键参数的平衡点；
  - 设备材质具有一定程度的适应性，能适应温度变化、酸碱变化等；
  - 另外建议修改焚烧相关标准对温度的要求。

热解焚烧炉二噁英减排途径如表 8-7 所示。

**表 8-7 热解焚烧炉二噁英减排技术组合**

途径	目的
增加二燃室	保证>2 秒的停留时间
增加辅助燃烧器	保证燃烧室温度>850℃
尾气排放—炉温—空气调节反馈控制系统	保证足够的氧气含量和足够的焚烧炉温度
进料配伍热值、含氯量分析控制系统	控制燃烧过程稳定，控制含氯量
增加自动加料系统	保证进料稳定
增加急冷装置	保证烟气 200-500℃ 温度区间停留小于 1 秒，避免二噁英类物质再生
在线监测措施及反馈控制系统	及时掌握尾气排放状况并适时调整焚烧工况
配置干(半干、湿)式脱酸系统	去除酸性气体和颗粒物
增加配置袋式除尘器	除去吸附有二噁英的粒子
增加配置活性炭喷射或活性炭床吸附	进一步吸附二噁英

途径	目的
配置滤膜飞灰洗涤系统	清洗飞灰并妥善收集
飞灰的固化填埋	最终处置吸附的二噁英

#### 8.5.4 二噁英减排模式分析

##### (1) 现有燃烧系统的改造

燃烧室是二噁英产生的主要场所，但现有焚烧设施的燃烧室的设计大多存在着下列问题：规范较落后或没有严格遵循规范设计；进料系统没有完全自动化，有的还实行人工喂料；在线监测装置严重缺乏；没有辅助燃烧器或设备严重老化等。因此，二噁英的减排首先从燃烧室的改造开始。

##### ① 增设(在线)监测装置

在线监测装置主要作用是控制燃烧区域(炉膛和二燃室)中燃烧的状态，主要监测的参数有温度、氧气含量、CO、烟灰、炉排的移动速度及一次和二次空气的分配等。监测装置与中央控制台进行时时数据传送，工作人员通过控制台对焚烧处理进行操作和调整，实现焚烧过程的自动化。

对于温度的控制主要是保持炉内温度大于 850℃或是 1000℃，或是 1200℃，并保持温度均匀和避免低于 850℃的温度以及烟道气中存在低温区域，使燃烧区域的气相温度处于能完全氧化废物的最佳范围。

氧含量的控制主要是为废物的焚烧提供足够的氧气含量，应该根据废物的热值和进料的连续性控制氧气的加入(如 6% )。

CO 浓度是衡量废物是否充分燃烧的重要指标之一，CO 浓度越低说明燃烧越充分，烟气中比较理想的 CO 浓度指标是低于 60mg/m<sup>3</sup>。一般说来，炉膛和炉排的结构是影响燃烧的主要影响因素之一，实践显示流化床比炉排结构燃烧充分一点，旋流式比固定式燃烧好一点，即 CO 浓度低一点。

炉排的移动速度可以控制废物在燃烧室中实现足够的停留时间(最小 2 秒)和湍流混合以实现废物的完全燃烧。

可以通过注入二次空气或回用烟道气来提高排气的高度混合以及减少过量，以此优化空气流入引致更高的温度，也可对一次和二次空气进行预加热以辅助燃烧。

##### ② 增设辅助燃烧器

安装自动辅助燃烧器来维持焚烧室的温度。在启动和关闭焚烧设施的过程中，势必存在温度的大幅度变化，这样为二噁英的产生提供了温度条件，因此辅助燃烧器可为启动和关闭的操作带来方便。但是，只要可能就应该使用连续的操作方式代替序批式以尽量避免焚烧过程的启动和停止。

##### ③ 自动进料系统的使用

通过自动控制设备保证废物只在最佳燃烧温度(850℃)时进入燃烧室，当没有达到最佳燃烧温度时停止进料。

##### (2) 现有烟气净化系统的改进

表 8-8 现有烟气净化系统的改进措施

烟气控制技术		技术特征	二噁英去除	备注
快速冷却	水淬技术	在 200-500℃ 温度区间停留小于 1 秒，可与脱酸或除尘工艺相结合	主要措施之一	我国《医疗废物集中焚烧处置工程技术规范》(HJ/T177)和《危险废物焚烧工程技术规范》(HJ/T176)有严格的要求
除尘工序	旋风除尘器	去除富含二噁英粒子	去除效率较低	仅用于尾气的预除尘
	静电捕捉除尘器		中等效率	
	袋式除尘器	与其他技术结合可有效去除富含二噁英粒子	现有设备改造的主要措施	活性炭或其他吸附剂、催化剂等注入袋式除尘器可大大提高去除效率，有的可以满足新标准
洗涤工序	喷雾式干式洗涤器	去除酸性气体和颗粒物，一般与静电捕捉或布袋除尘器一同使用		附件 C 所列化学品减排率达到 90% 以上，受温度影响较大
	湿式除尘器	由许多用以去除酸性气体和灰尘的工序组成，	在除尘器中填充聚丙烯和碳的复合材料可用专门去除二噁英	可选技术：喷射式、旋转式、文丘里、喷雾式干燥塔、填充塔式
	细尘吸收器	使用高效吸附剂	0.2-0.4 ngTEQ/Nm <sup>3</sup>	
吸收工序	固定床过滤	尾气以 110-150℃ 穿过一个富含焦炭的滤床	可满足 0.1 ngTEQ/Nm <sup>3</sup>	
	流动喷注	在布袋除尘器中注入大量二噁英吸附剂	可满足 0.1 ngTEQ/Nm <sup>3</sup>	135-200℃
	夹带流反应器	必要的设备包括新吸附剂供应、纤维过滤、再循环和吸收剂处理系统	可满足 0.1 ngTEQ/Nm <sup>3</sup>	110-150℃；吸附剂为石灰或其他惰性材料
催化氧化	选择性催化氧化		可低于 0.01 ngTEQ/Nm <sup>3</sup>	
	催化式布袋除尘器	过滤袋中有催化剂或固化在袋纤维上	1-2 ngTEQ/Nm <sup>3</sup>	180-250℃；有效消除而非吸附

对现有焚烧设备，可以通过使用现有的空气污染物控制装置来减少二噁英减排的成本：可以通过将活性炭喷射注入现有袋式除尘器转而发展成为一个注入式反应器从而消减二噁英，而且通过控制条件及投加量可以实现 0.1ngTEQ/Nm<sup>3</sup> 的排放标准。那么对于处理二噁英所增加的成本则仅仅是对于活性炭的贮存、运输、注射和处理的费用。这相当于仅仅使用了一些额外的吸收剂而已。

使用催化剂技术也可以消除二噁英。现有的用于选择性去除 NO<sub>x</sub>(氮氧化物)的催化剂就可以起到这个作用。使用这种技术所增加的成本仅仅是为了达到二噁英排放标准浓度的“低于 0.1 ngTEQ/Nm<sup>3</sup>”所增加的一定数量的催化层。

在去除或销毁二噁英的同时，其他一些污染物，例如重金属、气溶胶或其他一些有机污染物也将得到有效的去除。但是，以上两种方式的选用需要必要的条件：具有运行较好的布袋除尘器和催化剂技术设备。因此，我们要根据实际情况来决定最终的改造方案，不能搞一刀切的模式。

对于规划中的将新建的焚烧设备，我们尽量采用上表中所列出的有效减排二噁英的技术和设备。

### **(3) 现有燃烧室的和烟气净化装置的同时改造**

对于有些医疗废物的焚烧设施，单独采用改造燃烧室和烟气净化并不能完全保证二噁英低于  $0.1 \text{ ng TEQ/Nm}^3$  排放，需联合改造才能保证达标。如“非典”时期应急建设的 43 个集中式医疗废物处理设施，其规模合计为 213.2t/d，占“非典”时期所建焚烧设施处理总规模的 50%，平均每台设施处理能力为 5t/d。这些较早建造的焚烧装置炉膛和烟气净化设计并不规范，炉膛内部监测设备陈旧。43 个集中式设施中，有 36 个设施配置了尾气净化设施，喷水降温、布袋除尘和活性炭吸附工艺应用相对普遍，脱酸工艺应用比较少，在尾气净化上主要以除尘为主，较少考虑脱酸。

### **(4) 关闭现有焚烧设施、采用替代技术**

对于某些现有运行较差的焚烧设施，从环境和经济学的角度来看，如果对其进行改造的花费过高时，可彻底关闭该设施，将其现在所处理的医疗废物进行统一规划，找到较为经济和环保的替代设施。如在“非典”时期所建 132 个分散式设施，其规模合计为 226.2t/d，平均每台设施处理能力为 1.7t/d，低于平均处理能力的设施有 82 个，绝大多数设施的处理能力都在 2t/d 以内。如果对其改造，则每吨废物的处理费用会大大超过集中处置设施。因此，可考虑将其关闭，再集中统筹规划，进行合理的处理。

拆除现有运行较差的焚烧设施后，既可以考虑新建集中焚烧处理设施，将分散处理的医疗废物集中处理，也可以考虑采用不排放二噁英的非焚烧技术。两种技术的选择主要取决于经济和技术的比较，要保证技术上的合理性(技术的可行性、成熟性以及二噁英等污染物的减排)，又要考虑到成本(包括设备费用和运行维护费用等)。

## **8.6 重金属及其化合物的控制技术**

烟气中重金属主要以气态或吸附态形式存在。气化温度较高的重金属及其化合物在烟气处理系统降温过程中凝结成粒状物质，然后被除尘设备收集去除；气化温度较低的重金属元素无法充分凝结，但飞灰表面的催化作用可能使其转化成气化温度较高、较易凝结的金属氧化物或氯化物，从而被除尘设备收集去除；仍以气态存在的重金属物质，将被吸附于飞灰上或被喷入的活性炭粉末吸附而被除尘设备一并收集去除。活性炭粉末不仅可以吸附烟气中呈气态的重金属元素及其化合物，而且可以吸附一部分布袋除尘器无法捕集的超细粉尘以及吸附在这些粉尘上的重金属而被除尘设备一并收集去除。但是，挥发性较高的铅、镉和汞等少数重金属则不易被完全去除。

已有的运行结果表明：布袋除尘器与半干式洗气塔并用时，除了汞之外，对其它重金属的去除效果均非常好，且进入除尘器的尾气温度愈低，去除效果愈好。但为了维持布袋除尘器的正常操作，废气温度不得降至露点以下，以免引起酸雾凝结，造成滤袋腐蚀，或因水汽凝结而使整个滤袋阻塞。汞由于其饱和蒸气压较高，不易凝结，只能靠布袋上的飞灰层对气态汞的吸附作用而去除一部分，其净化效果与尾气中飞灰含量及布袋中飞灰层厚度有直接关系。为了进一步降低汞的排放浓度，在半干法工艺中于布袋除尘器前喷入活性炭粉末或于尾气处理流程末端使用活性炭滤床加强对汞的吸附作用。

危险废物中含有的易挥发或沸点低的重金属及其化合物在焚烧时易以蒸发气体或金属粒子的状态进入烟气中，目前对烟气中重金属污染物质去除的主要技术包括：

(1)降低烟气温度，使蒸发的重金属气体重新凝结或团聚到灰尘的颗粒上，然后通过除尘器去除。烟气的降温通常借助于喷淋过程，此法仅仅适用于在250℃左右能凝结或团聚的重金属气体。

(2)采用催化作用，使重金属气体与其他物质反应生成溶于水溶液的溶剂，在洗涤塔中通过清洗将重金属的化合物去除。

(3)采用活性炭吸附，然后通过布袋等除尘器将含重金属物质的活性炭脱出。

(4)形成饱和温度较高的化合物，在稳降不大的前提下进行凝结、收集和脱出重金属物质。

## 9 实施本标准的环境效益及经济技术分析

### 9.1 危险废物焚烧污染控制环境效益分析

危险废物焚烧处理技术作为目前中国危险废物和医疗废物处置技术的重要的技术选择，还将在其处置过程中发挥重要的作用。通过环境污染控制标准的修订以及性能测试技术规范的制定将对于减少 HCl、SO<sub>2</sub> 等污染物的排放产生积极的影响，环境效益显著，特别是随着“POPs 公约”履约进程的加快，今后的工作重点将是对现有危险废物和医疗废物焚烧设施的改造，以分阶段实现二噁英的排放标准。

2004 年，《全国危险废物和医疗废物处置设施建设规划》实施后，在国家政策引导、国债资金带动下，我国危险废物和医疗废物集中处置设施建设有了快速发展。截至到 2012 年底，规划确定的 302 个危险废物和医疗废物集中处置项目基本完成项目建设。形成危险废物和医疗废物焚烧处置总能力 145.57 万 t/年，潜在的危险废物和医疗废物焚烧烟气排放的二噁英数量约为 79.8gTEQ/年。预计到上述焚烧设施达到本标准规定的二噁英排放限值 0.1ngTEQ/Nm<sup>3</sup> 要求，焚烧烟气排放的二噁英数量约为 29.1gTEQ/年，减排量为 28.2gTEQ/年。

### 9.2 源头减量化的经济分析

为了控制危险废物焚烧处置设施的 DRE 以及烟气排放指标需要对危险废物实行源头控制，特指对医疗废物氯源产生进行控制。虽然我国包装袋采用聚乙烯材质，筒状结构，袋口设有伸缩式捆扎绳，包装袋的规格(折径×长×厚)分为：450mm×500mm×0.15mm(低密度聚乙烯)和 450mm×500mm×0.08mm(中、高密度聚乙烯)两种，不得使用聚氯乙烯(PVC)塑料为制造材料，但我国的其他已用制品都是以聚氯乙烯为原材料的，如一次性针剂、采血袋等，据不完全统计，我国在这方面每年大约消耗聚氯乙烯原材料近 7 万 t，按照国际最新报价聚氯乙烯每吨 16380 元，聚乙烯 22680 元，也就是说要减少源头氯源的产生量，我国每年在已用制品上就要增加约 44100 万元的投入。

### 9.3 二噁英达标排放的技术经济分析

由于焚烧烟气处理逐步受到重视，烟气净化技术不断进步，余热利用系统、烟气净化系统得到进一步完善，尤其是二噁英控制技术得到快速发展。2004 年，欧盟根据欧盟废物焚烧指令(2000/76/EC)，制订了欧盟废物焚烧 BAT/BEP。这两个 BAT 都要求采用当前最先进、最有效的，不



仅是技术经济可行、环境友好，而且是可靠的实用技术。并对主流焚烧技术，如回转窑、热解、流化床等焚烧炉的工艺设计和运行参数进行了严格的规定，同时要求在保证良好的燃烧工况前提下，还要采取能够削减烟气中二噁英排放的烟气净化设施。

国外发达国家的烟气二噁英控制技术经过几十年的发展，目前已经十分成熟，针对不同的废物类型、不同的处置规模等情况有多种技术可供选择，而且技术水平先进，实现了  $0.1\text{ngTEQ}/\text{Nm}^3$  的排放标准。另外，更加先进的 SCR 技术越来越多的得到使用，使得二噁英的排放进一步降低 ( $0.002\text{--}0.05\text{ngTEQ}/\text{Nm}^3$ )。

我国的焚烧烟气二噁英控制技术虽然起步较晚，但经过近十年的发展，目前已经有了成熟的技术，如活性炭注入加布袋收尘技术、固定床吸附技术等，并取得了一些实际运行经验。但是与国外发达国家相比还存在以下问题：

- (1) 国内现有不同危险废物焚烧设施的烟气二噁英控制技术差距较大，有很多设施需改进。
- (2) 与国外同类技术相比，现有的技术水平还有一定差距。
- (3) 对于先进的 SCR 技术，国内还处于试验室研究阶段，还没有工业化应用。

根据国内外常用的烟气二噁英控制技术的组合应用情况，几种通用二噁英控制技术应用模式对二噁英削减的效果如图 9-1 所示，几种常用烟气二噁英控制组合技术的对比分析如表 9-1 所示。

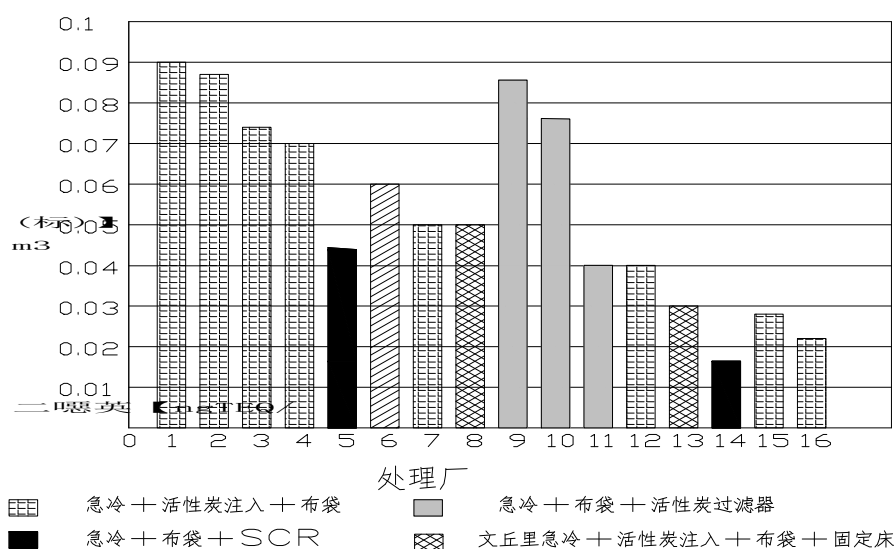


图 9-1 欧洲危险废物焚烧厂应用二噁英削减技术的结果

表 9-1 国外常用烟气二噁英控制组合技术的评估

技术组合	废物类型	工厂规模	新建/改建	控制效果	投资	运行成本
急冷+活性炭注入+布袋收尘	适合不含 PCBs 或低含氯的危险废物和医疗废物	任何规模	适用于两者	高	低	中
急冷+布袋收尘+SCR	适用各种类型的危险废物和医疗废物	适用于任何规模，但对中小规模更适用	适用于两者	非常高	高	低
急冷+布袋收尘+固定床吸附	特别适用于废物对象变化较大的情况	任何规模	适用于两者	中	低	中

技术组合	废物类型	工厂规模	新建/改建	控制效果	投资	运行成本
文丘里急冷+活性炭注入+布袋收尘+固定床	含 PCBs 或高含氯的危险废物	任何规模	更适合新建项目	高	高	高

活性炭注入加布袋收尘技术、固定床吸附技术、循环流化床吸附技术、SCR 技术等是适合我国危险废物和医疗废物焚烧处置烟气二噁英控制的主要技术。活性炭注入加布袋收尘技术适用于任何规模的危险废物和医疗废物焚烧设施，对于大型危险废物和医疗废物焚烧设施可以单独使用。固定床吸附技术尤其适合废物变化较大的危险废物(含医疗废物)焚烧设施，作为末端技术，应与活性炭注入加布袋收尘技术联合使用。循环流化床吸附技术是对活性炭注入加布袋收尘技术的改进和提高，适用于任何规模，通常放在布袋除尘器之前，与活性炭注入加布袋收尘技术联合使用，一般根据焚烧炉的二噁英产生情况灵活使用。SCR 技术作为末端技术任何系统可以灵活添加，其技术综合比较及适用性分析如表 9-2 所示，各种不同技术组合的适用情况如表 9-3 所示。

表 9-2 二噁英控制技术综合比较及适用性分析表

项目名称	活性炭注入加布袋收尘技术	SCR 技术	活性炭固定床吸附技术	循环流化床吸附技术
废物类型	适用所有类别	适用所有类别	适用所有类别，尤其适合废物变化较大的情况。	适用所有类别
工厂规模	适用于任何规模	适用于任何规模	适用于任何规模	适用于任何规模
新建/改建	所有设施都要采用	作为末端技术任何系统可以灵活添加	作为末端技术，任何系统可以灵活添加	两者都适合
使用方式	可以单独使用，也可以与其他技术联合使用。	不能单独使用，与活性炭注入加布袋收尘技术联合使用。	不能单独使用，应与活性炭注入加布袋收尘技术联合使用。	不能单独使用，只能放在布袋除尘器之前，与活性炭注入加布袋收尘技术联合使用。
二噁英去除效率	>80%(普通滤袋，流速 1m/min) >90%(戈尔滤袋流速，0.1-0.5m/min)	>90%	>80%	>80%

表 9-3 各种不同技术组合的适用情况

代号	适合规模(t/d)	烟气二噁英净化工艺组合	急冷塔出口二噁英浓度(ngTEQ/ Nm <sup>3</sup> )	烟气净化设施出口二噁英浓度(ngTEQ/ Nm <sup>3</sup> )
I	>30	急冷+活性炭注入+布袋收尘	2.5	0.5
			5	0.5
II	>30	急冷+活性炭注入+循环流化床+布袋收尘	12.5	0.5
			25	0.5

III	15-30	急冷+活性炭注入+布袋收尘+固定床吸附	12.5	0.5
			25	0.5
IV	15-30	急冷+活性炭注入+布袋收尘+SCR	25	0.5
			50	0.5
V	<15	急冷+活性炭注入+循环流化床+布袋收尘+固定床吸附	62.5	0.5
			125	0.5
VI	<15	急冷+活性炭注入+循环流化床+布袋收尘+SCR	125	0.5
			250	0.5
I	>30	急冷+活性炭注入+布袋收尘	0.5	0.1
			1	0.1
II	>30	急冷+活性炭注入+循环流化床+布袋收尘	2.5	0.1
			5	0.1
III	15-30	急冷+活性炭注入+布袋收尘+固定床吸附	2.5	0.1
			5	0.1
IV	15-30	急冷+活性炭注入+布袋收尘+SCR	5	0.1
			10	0.1
V	<15	急冷+活性炭注入+循环流化床+布袋收尘+固定床吸附	12.5	0.1
			25	0.1
VI	<15	急冷+活性炭注入+循环流化床+布袋收尘+SCR	25	0.1
			50	0.1

### 9.3.1 设施改造/新建投资计算依据

#### 9.3.1.1 活性炭注入加布袋收尘技术

##### (1) 投资成本

活性炭注入加布袋收尘技术的直接工程投资包括布袋除尘器、活性炭喷入系统、压缩空气反吹系统等设备费及配电、控制等其它配套费用。表 9-4 以 1t/h 的焚烧规模（烟气量 10000Nm<sup>3</sup>/h）为例，进行工程投资分析。

表 9-4 活性炭注入加布袋收尘技术工程投资分析

技术名称	主要设备	投资（万元）		单位烟气投资（元/Nm <sup>3</sup> ）
		单项投资	总投资	
活性炭注入加布袋收尘技术（A）	布袋除尘器，过滤面积 277m <sup>2</sup> ，含聚酯、尼龙、PIFT、聚酰亚胺等滤袋	50	80	80
	活性炭喷入系统，加入速率 1.0kg/h	15		
	压缩空气反吹系统，气量 4m <sup>3</sup> /min	10		
	其它配套	5		
活性炭注入加布袋收尘技术（B）	布袋除尘器，过滤面积 590m <sup>2</sup> ，含戈尔滤袋	120	150	150
	活性炭喷入系统，加入速率 1.0kg/h	15		
	压缩空气反吹系统，气量 4m <sup>3</sup> /min	10		
	其它配套	5		

注：表中 A 表示布袋除尘器的烟气流速为 1m/s，布袋材质采用聚酯、尼龙、PIFT、聚酰亚胺等普通材质的情况；B 表示布袋除尘器的烟气流速为 0.1-0.5m/s，布袋材质采用聚四氟乙烯材质的情况。

##### (2) 运行成本

活性炭注入加布袋收尘技术的运行成本包括设备折旧、活性炭消耗、动力消耗、布袋消耗等费用。表 9-5 以 1t/h 的焚烧规模（烟气量 10000Nm<sup>3</sup>/h）为例，进行运行成本分析。

表 9-5 活性炭注入加布袋收尘技术运行成本分析

技术名称	主要设备	成本（元/h）		单位成本（元/t）
		单项成本	总成本	
活性炭注入加布袋收尘技术（A）	设备折旧（10年）	9	42	42
	活性炭消耗 1.0kg/h	8		
	动力消耗 16KWh	8		
	布袋消耗 0.06m <sup>2</sup> /t	17		
活性炭注入加布袋收尘技术（B）	设备折旧（10年）	18	184	184
	活性炭消耗 1kg/h	8		
	动力消耗 16KWh	8		
	布袋消耗 0.06m <sup>2</sup> /h	150		

注：表中 A 表示布袋除尘器的烟气流速为 1m/s，布袋材质采用聚酯、尼龙、PIFT、聚酰亚胺等普通材质的情况；B 表示布袋除尘器的烟气流速为 0.1-0.5m/s，布袋材质采用聚四氟乙烯材质的情况。

### 9.3.1.2 固定床吸附技术

#### (1) 投资成本

固定床吸附技术的直接工程投资包括吸附塔及配电、控制等其它配套费用，活性炭填料费用。

表 9-6 以 1t/h 的焚烧规模（烟气量 10000Nm<sup>3</sup>/h）为例，进行工程投资分析。

表 9-6 固定床吸附技术工程投资分析

技术名称	主要设备	投资（万元）		单位烟气投资（元/Nm <sup>3</sup> ）
		单项投资	总投资	
固定床吸附技术	吸附塔 Φ3500×5000	34	51	51
	活性炭 15m <sup>3</sup>	13		
	其它配套	4		

#### (2) 运行成本

固定床吸附技术的运行成本包括设备折旧、活性炭消耗、动力消耗等费用。表 9-7 以 1t/h 的焚烧规模（烟气量 10000Nm<sup>3</sup>/h）为例，进行运行成本分析。

表 9-7 固定床吸附技术运行成本分析

技术名称	主要设备	成本（元/h）		单位成本（元/t）
		单项成本	总成本	
固定床吸附技术	设备折旧（10年）	6	20	20
	活性炭消耗 0.5kg/t	4		
	动力消耗 20KWh	10		

### 9.3.1.3 SCR 技术

#### (1) 投资成本

SCR 技术的直接工程投资包括催化反应器及配电、控制等其它配套费用，SCR 催化剂费用。表 9-8 以 1t/h 的焚烧规模（烟气量 10000Nm<sup>3</sup>/h）为例，进行工程投资分析。

表 9-8 SCR 技术工程投资分析

技术名称	主要设备	投资（万元）		单位烟气投资（元/Nm <sup>3</sup> ）
		单项投资	总投资	

SCR 技术	催化反应器 3m×4m×5m	45	225	225
	SCR 催化剂 18m <sup>3</sup>	170		
	其它配套	10		

#### (2) 运行成本

SCR 技术的运行成本包括设备折旧、动力消耗等费用。表 9-9 以 1t/h 的焚烧规模（烟气体积 10000Nm<sup>3</sup>/h）为例，进行运行成本分析。

表 9-9 SCR 技术运行成本分析

技术名称	主要设备	成本（元/h）		单位成本（元/t）
		单项成本	总成本	
SCR 技术	设备折旧（10 年）	25	29	29
	动力消耗 8KWh	4		

### 9.3.1.4 循环流化床吸附技术

#### (1) 投资成本

循环流化床吸附技术的直接工程投资包括循环流化塔及配电、控制等其它配套费用。表 9-10 以 1t/h 的焚烧规模（烟气体积 10000Nm<sup>3</sup>/h）为例进行工程投资分析。

表 9-10 活性炭循环流化床吸附技术工程投资分析

技术名称	主要设备	投资（万元）		单位烟气投资（元/Nm <sup>3</sup> ）
		单项投资	总投资	
循环流化床技术	循环流化塔 Φ2500×7000	27	30	30
	其它	3		

#### (2) 运行成本

活性炭循环流化床吸附技术的运行成本包括设备折旧、动力消耗等费用。表 9-11 以 1t/h 的焚烧规模（烟气体积 10000Nm<sup>3</sup>/h）为例，进行运行成本分析。

表 9-11 活性炭循环流化床吸附技术运行成本分析

技术名称	主要设备	成本（元/h）		单位成本（元/t）
		单项成本	总成本	
循环流化床技术	设备折旧（10 年）	5	12	12
	动力消耗 14KWh	7		

### 9.3.2 已有设施改造需要的投资

(1) 二噁英减排从 0.5ngTEQ/Nm<sup>3</sup> 提高到 0.1 ngTEQ/Nm<sup>3</sup> 所需要的投资，如表 9-12 所示。

表 9-12 焚烧处置设施实现二噁英排放所需要的投资估算

规模（吨/日）	数量（个）	烟气体积（Nm <sup>3</sup> /h）	技术选择	单位改造投资（元/Nm <sup>3</sup> ）	尾气处理总投资（万元）
≤15	117	435604	急冷+活性炭注入+循环流化床+布袋收尘+固定床吸附	225-437	9801-19036
			急冷+活性炭注入+循环流化床+布袋收尘+ SCR	418-620	18208-27007
15-35	51	543070	急冷+活性炭注入+布袋收尘+固定床吸附	193-395	10481-21451

			急冷+活性炭注入+布袋收尘+SCR	376-578	20420-31390
≥35	5	156600	急冷+活性炭注入+布袋收尘	122-324	1910-5074
			急冷+活性炭注入+循环流化床+布袋收尘	164-366	2568-5731

### 9.3.3 新建设施建设需要的投资

新建设施的建设造依据二噁英排放水平直接达到标准要求要求的  $0.1 \text{ ngTEQ/Nm}^3$ ，分别估算单个不同类型设施组合实现二噁英减排所需要大约投资，如表 9-13 所示。

表 9-13 新建设施实现二噁英排放所需要的投资估算

规模 (吨/日)	烟气量 ( $\text{Nm}^3/\text{h}$ )	技术选择	单位建设投资 (元/ $\text{Nm}^3$ )	单套尾气处理设施总投资 (万元)
≤15	≤6250	急冷+活性炭注入+循环流化床+布袋收尘+固定床吸附	225-437	140-273
		急冷+活性炭注入+循环流化床+布袋收尘+ SCR	418-620	261-388
15-35	6250-14580	急冷+活性炭注入+布袋收尘+固定床吸附	193-395	120-576
		急冷+活性炭注入+布袋收尘+SCR	376-578	235-843
≥35	≥14580	急冷+活性炭注入+布袋收尘	122-324	177-472
		急冷+活性炭注入+循环流化床+布袋收尘	164-366	240-534

### 9.3.4 配套设施建设需要投资

由于焚烧替代处理技术处理的医疗废物种类有限，一般只能处理感染性和损伤性的废物，对于病理性、药物性、化学性的废物还需有相应的处理设施配套，对于最终处理后的医疗废物，还需较大容量的填埋场或焚烧场来消纳处理后的医疗废物残渣。该部分投资估算及组成如表 9-14 所示。

表 9-14 其他配套设施及投资

组成	投资(万元/万 t 医疗废物)
填埋场(库容成本)	50
其余废物处理设施(焚烧、综合利用等)	2000

以上是达到标准修订的指标所需要进行经济投入。虽然目前现在已有的设施基本上已经能达到标准规定的最低要求，但是还有相当一部分设施不能达到要求。因此，还需要对这部分进行一些经济投入，满足标准规定的最低限值。

### 9.3.5 二噁英达标排放的技术经济分析小结

前面针对现有设施以及按照本标准所设立的目标标准限值背景下的技术经济进行了简要的分析，相关分析是基于目前国内外所能应用的潜在技术而进行的，可能会存在与实际不相符的地方，或者在可操作性方面还要结合设施的具体情况进行系统评估后而定。

另外，危险废物和医疗废物处理设施的建设和运行还存在着诸多的不确定因素，尤其是规划内建设并将投入运行的部分危险废物和医疗废物处置设施可以通过推进全过程废物管理体系的建设，

全面加强运营管理，在保持现有技术及设施不变的情况下也可以达到相应的标准要求。具体情况还得依据处置设施的技术、管理以及地方废物的特性等因素综合评估和确定。