

污泥协同处理处置国内外现状及发展趋势分析

张 宁

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘 要: 污泥协同处理处置技术可发挥协同效益、降低成本、节约原生资源、有效减少碳排放,具有显著经济效益和应用潜力。该研究聚焦国内外污泥协同处理处置技术的相关法规标准和技术应用情况,首先梳理了国内各技术的政策导向和标准要求,分析了典型工程应用和一般工艺特征;接着以德国和日本为例,调研了不同国情下与污泥处理处置相关的法律法规,以及在此背景下各国污泥协同处理处置技术的行业现状与发展趋势;最后基于国内外污泥协同处理处置现状,总结了污泥协同处理处置行业的发展趋势和建议,为其推广应用提供参考。

关键词: 污泥;协同处理处置;协同焚烧;协同厌氧消化;法规和标准;应用现状

中图分类号: X703

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2023)10-0023-05

0 引 言

随着我国城镇化进程加快推进,城市污水集中收集率不断提高,污泥产生量不断增加,目前我国污水污泥的年产生量已超过 7 000 万 t(以含水率 80%计)。污泥处理处置不仅要稳定可靠,还要绿色低碳。三部委联合发布的《污泥无害化处理和资源化利用实施方案》^[1]建议有效利用本地垃圾焚烧厂、火力发电厂、水泥窑等窑炉处理能力,协同焚烧处置污泥;加大污泥能源资源回收利用,推广污泥沼气热电联产技术。污泥协同处理处置能够发挥协同效益、降低成本、节约和替代原生资源、有效减少碳排放。

目前我国污泥协同处理处置技术已有较多工程应用,但在相关法规标准支撑和运行水平提升方面仍不够完善。因此,本研究聚焦国内外污泥协同处理处置情况,梳理常用技术路线及其工艺特点,从应用情况、相关法规标准等方面总结国内外应用现状,并分析现存问题和发展趋势,为我国污泥协同处理处置规范发展提供参考。

1 污泥协同处理处置国内现状

为鼓励和规范污泥协同处理处置技术应用,我国发布了一系列政策文件和技术指南。2020 年国家发改委和住建部印发了《城镇生活污水处理设施补短板强弱项实施方案》,提出将垃圾焚烧发电厂、燃煤电厂、水泥窑等协同处置方式作为污泥处置的补

充。2022 年三部委印发的《污泥无害化处理和资源化利用实施方案》鼓励污泥协同处置、统筹城市有机废弃物综合协同处理。生态环境部发布的《城镇污水处理厂污泥处理处置污染防治最佳可行技术指南(试行)》、住建部和发改委发布的《城镇污水处理厂污泥处理处置技术指南(试行)》对三类协同焚烧的技术要点作出了规定。

根据住建部数据统计,截至 2021 年,污泥焚烧工艺占总处置量比例达 34%,土地利用工艺占总处置量比例为 28%。污泥协同处理处置主流路线可分为协同焚烧和协同厌氧消化两大类,其中协同焚烧主要利用垃圾焚烧厂、火力发电厂、水泥窑三类窑炉,协同厌氧消化可与餐厨垃圾等有机废弃物协同处理后进行土地利用。

1.1 污泥与生活垃圾协同焚烧

目前我国垃圾焚烧厂平均负荷率约为 60%,多数地区生活垃圾焚烧能力有剩余,尤其是广东、浙江等地。污泥与生活垃圾性质相似,焚烧工艺和污染物控制要求也相近,因此可最大程度依托原有生活垃圾焚烧线和烟气处理系统协同焚烧污泥,充分利用现有产能、降低建设投资成本。

1.1.1 相关法规和标准

政策上,国家鼓励污泥与生活垃圾协同焚烧。2022 年,国家发改委等部门发布了《关于加快推进城镇环境基础设施建设指导意见的通知》,提出强化设施协同高效衔接,推动生活垃圾焚烧设施掺烧市政污泥等废弃物,实现焚烧处理能力共用共享。同年,《关于加强县级地区生活垃圾焚烧处理设施建设的指导

收稿日期: 2023-06-06

作者简介: 张宁(1978—),男,硕士,高级工程师,从事市政工程经营管理工作。

意见》发布,鼓励开展生活垃圾与农林废弃物、污泥等固体废物协同处置,推广园区化建设模式。

对于污染控制,生活垃圾焚烧厂配备的烟气净化设施可有效处理污泥焚烧特征污染物,污泥与生活垃圾协同焚烧时烟气排放需满足《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB 18485—2014)的要求,污染防治措施和标准较为健全。

1.1.2 技术应用现状

根据2018—2021年数据统计,我国污泥焚烧处置项目中,生活垃圾协同焚烧项目数量约占28%。典型项目有:上海市松江区污泥与生活垃圾协同焚烧工程,污泥协同规模96 t/d(以干基计),将污泥从含水率60%~80%干化至30%后入炉,平均掺比控制在5%~10%^[2];浙江嘉兴海宁市垃圾焚烧厂,污泥协同规模120 t/d,将污泥从含水率80%干化至40%后入炉,最大掺比可达20%;青岛市小涧西二期生活垃圾焚烧与污泥协同处置工程,污泥协同规模100 t/d(以干基计),将污泥从含水率不高于80%干化至40%后入炉,平均掺比约9.2%^[3]。

由于脱水污泥含水率较高、热值较低,一般需进行干化再进入焚烧炉焚烧,并常以生活垃圾焚烧厂产生的饱和蒸汽作为干化热源。实际工程中,在平衡成本和效益的考虑下,常将污泥干化至含水率35%~50%后入炉,此状态可避开污泥黏滞区、便于进料,又可保持与垃圾焚烧厂MCR工况设计热值相当的低位热值(约1 800~2 400 kJ/kg)^[4]。一般经验认为,污泥掺烧比不超过10%时对原垃圾焚烧厂影响较小^[5,6]。

1.2 燃煤电厂污泥掺烧

随着我国能源结构低碳化转型加速推进,煤电清洁化发展迅速,国家鼓励煤炭和新能源优化组合,因地制宜发展生物质能等其他可再生能源。污泥进入燃煤电厂协同焚烧时,煤具有高热值,污泥可改善煤的着火性能,剩余热量还可用于发电,具有显著资源化利用效益。

1.2.1 相关法规和标准

2017年,国家能源局和环境保护部联合发布了《关于开展燃煤耦合生物质发电技改试点工作的通知》(国能发电力[2017]75号),提出依托现役煤电高效发电系统和污染物集中治理设施,兜底消纳污水处理厂、水体污泥等生物质资源,开展燃煤耦合垃圾发电、燃煤耦合污泥发电技改项目;在此基础上,2018年发布了《关于燃煤耦合生物质发电技改试点

项目的通知》(国能发电力[2018]53号),明确了84个燃煤耦合生物质发电技改试点项目名单,其中耦合污泥的项目29个。2019年,国家发改委发布《产业结构调整指导目录》将“燃煤耦合生物质发电”作为新增鼓励产业列入目录中。

对于污染控制,由于电厂燃煤锅炉配套的烟气净化设施对污泥焚烧特征污染物去除效果较差(如二噁英等),且现行《火电厂大气污染物排放标准》(GB 13223—2011)不适用于污泥掺烧后的污染控制,因此电厂掺烧存有争议。对此需出台相应控制标准以规范污染物排放,如上海制定了地方标准《燃煤耦合污泥电厂大气污染物排放标准》(DB 31/1291—2021)。

1.2.2 技术应用现状

根据2018—2021年数据统计,在我国污泥焚烧处置项目中,污泥进入电厂掺烧项目数量约占30%。典型项目有:上海外高桥电厂污泥掺烧项目,设计掺烧规模224 t/d(以干基计),接收来自竹园污水处理厂含水率30%的干化污泥,平均掺比低于2%,最大掺比低于6%^[7];常熟发电厂污泥耦合发电项目,设计掺烧规模263 t/d(以干基计),通过9条污泥干化生产线将含水率60%和80%的污泥干化至30%后入炉,平均掺比为2.66%^[8];浙能长兴电厂污泥掺烧项目,设计掺烧规模40 t/d(以干基计),将含水率80%的污泥干化至35%后入炉,掺比为1%~2%。

污泥掺烧前通常需要进行干化,可利用锅炉高温烟气作为热源直接干化污泥,也可利用汽轮机抽汽作为热源间接干化污泥^[9]。污泥干化后与原煤一同进入磨煤机制粉。根据孟春霖等的统计结果^[10],如污泥进入循环流化床锅炉掺烧,当含水率不高于80%且掺烧比不高于10%时,对系统运行和污染物排放影响较小;如污泥进入煤粉炉掺烧,当含水率不高于40%且掺烧比不高于5%时,对系统运行和污染物排放影响较小。

1.3 水泥窑协同处置污泥

我国水泥行业产能过剩,水泥企业纷纷推进绿色转型,向集约、环保、多元化发展。利用水泥窑协同焚烧污泥时,高温煅烧可分解污泥中有机物、杀灭病原体,水泥熟料矿物水化过程可固化重金属^[11],最终污泥灰渣成为水泥熟料一部分,实现安全处理处置和资源化利用。

1.3.1 相关法规和标准

为推动水泥行业绿色转型,国家在政策上对水

泥窑协同处置废弃物给予支持。2016 年,生态环境部发布了《水泥窑协同处置固体废物污染防治技术政策》,主要包括源头控制、清洁生产、末端治理、二次污染防治以及鼓励研发的新技术等内容。2017 年,14 部委联合印发的《循环发展引领行动》提出因地制宜推进现有水泥窑协同处理污泥、生活垃圾等。

对于污染控制,水泥窑炉内较高温度使有机污染物分解彻底,且多数重金属易被固化至玻璃相中,二次污染风险较小;此外,相关标准规范较为全面,包括《水泥窑协同处置污泥工程设计规范》(GB 50757—2012)、《水泥窑协同处置固体废物污染控制标准》(GB 30485—2013)、《水泥窑协同处置固体废物技术规范》(GB/T 30760—2014)、《水泥窑协同处置固体废物环境保护技术规范》(HJ 662—2013)、《城镇污水处理厂污泥处置 水泥熟料生产用泥质》(CJ/T 314—2009)等。

1.3.2 技术应用现状

根据 2018—2021 年数据统计,在我国污泥焚烧处置项目中,水泥窑协同处置污泥项目数量约占 16%。典型项目有:广州越堡水泥窑协同处置项目,设计规模为 600 t/d(含水率 40%),污泥在污水厂内脱水干化后送入水泥窑分解炉^[12];北京水泥厂协同处置项目,设计处理能力为 500 t/d(含水率 80%),脱水污泥在厂内经涡轮薄层干化将含水率由 80%降至 35%(半干化)或 10%(全干化),投入分解炉上的预燃炉^[11];株洲市水泥窑协同处置项目,设计规模为 300 t/d,包括含水率 50%的干化污泥 250 t 和 80%的湿污泥 50 t,干化污泥投入分解炉内^[13]。

脱水污泥可直接送入回转窑窑尾,不进行预烘干处理可节省费用,但也因此易造成烟室内温度出现较大波动,影响水泥生产线的稳定运行。脱水污泥还可通过脱水、干化等设备,利用窑尾锅炉余热将污泥含水率干化至 30%,然后送入分解炉燃烧,但该技术需要另外设置设备,投资较高,且干化过程中废气难以处理。

1.4 污泥与餐厨垃圾协同消化

由于我国污泥有机质普遍偏低,单独厌氧消化时常面临降解不彻底、产气不佳等问题。随着垃圾分类的全国推行,餐厨垃圾产量逐渐增加、集中处理需求增加。因此,污泥与餐厨垃圾协同消化处理可同时满足两种物料处理处置需求,相对于污泥单独厌氧消化可提高进料有机质、增加产气量,取得可观的经济效益与环境效益。

1.4.1 相关法规和标准

污泥与餐厨垃圾协同消化符合循环经济理念。三部委联合发布的《污泥无害化处理和资源化利用实施方案》提出,要统筹城市有机废弃物的综合协同处理。《循环发展引领行动》要求推动城镇污水处理厂污泥与餐厨废弃物、粪便、园林废弃物等协同处理。技术标准方面,《污泥协同处理厨余垃圾工程技术标准》和《污泥协同处理厨余垃圾干式厌氧消化设备技术条件》两部行标发布后将为污泥与厨余垃圾协同处理应用提供指导。

1.4.2 技术应用现状

污泥与餐厨垃圾掺比可用 C/N 表示,该指标决定了厌氧消化工艺是否能够稳定运行、产气性能是否良好。一般研究认为,厌氧消化适宜的 C/N 一般为 20~30^[15]。典型项目有:镇江市餐厨废弃物及生活污水污泥协同处理工程,处理规模为餐厨垃圾 120 t/d(含水率以 85%计)与污水厂污泥 120 t/d(含水率以 80%计),实现物料减量率 80%,年平均沼气产量 332 万 m³;大连夏家河污泥处理工程,处理规模为污泥 600 t/d,餐厨垃圾 200 t/d,城市粪便 100 t/d,日供净化生物质燃气(天然气标准)约 2 万 m³;九江市城镇污泥和餐厨垃圾处理处置工程,设计规模为污水厂污泥 150 t/d(含水率以 80%计)和 200 t/d 餐厨垃圾。

2 污泥协同处理处置国外现状

各国污泥处理处置路线受地域、产业、政策等多因素综合影响。本节选取德国和日本作为研究对象,讨论污泥协同处理处置技术国外应用情况。

2.1 德国

2.1.1 相关法规和标准

(1) 污水污泥条例(AbklärV)

德国污水污泥条例(AbklärV)在 2017 年进行修订,要求当人口当量大于 5 万的污水处理厂产生的污水污泥含磷量不低于 20 g/kg DS 时,须从污水污泥或其焚烧灰中回收磷;人口当量不超过 5 万的小型污水处理厂或含磷量小于 20 g/kg DS 的情况不受制于该新修订条例。从 2029 年起(人口当量大于 10 万的污水处理厂)或从 2032 年起(人口当量 5~10 万的污水处理厂),含磷量不低于 20 g/kg DS 的污水污泥须采用磷回收工艺,磷回收率至少为 50%以上(如污泥中磷含量高于 40g /kg DS,回收率可低于 50%);或者承诺污泥进行单独焚烧或协同焚烧并从灰渣中回收磷,回收率至少达 80%;也可以对含磷灰

分进行物质性利用,或根据废物填埋条例进行长期存放,以便进行后续磷回收。

由于垃圾协同焚烧和水泥窑协同处置无法回收污泥中的磷,因此预计未来污泥协同处理处置比例将降低。以柏林为例,柏林水务部门目前运营6座污水处理厂,产生的污泥中有60%进入水务部门自有的垃圾焚烧厂,剩余40%外运至其他电厂或水泥厂协同处置;为响应污水污泥条例的要求,计划逐步取消外运协同处置,新建污泥单独焚烧工程。

(2)第17号联邦排放控制条例(17.BImSchV)

该条例全称为废弃物焚烧和协同焚烧条例,于2013年颁布,2021年最新修订。该条例规定了废弃物单独焚烧和协同焚烧大气排放限值,其中协同焚烧限值适用于当废弃物在电厂掺烧时提供的热量输入低于25%,或废弃物水泥窑协同处置的情况。如未对协同焚烧工程设定固定排放限值,允许通过公式进行计算,其原理与欧盟2000/76/EC指令的计算公式相似。

2.1.2 技术应用现状

德国污泥协同处理处置以协同焚烧为主。目前三项主流技术中,电厂掺烧处理量最大,约占污泥产生量的23%;水泥窑协同处置约占7%,垃圾协同焚烧约占3%。

(1)燃煤电厂污泥掺烧

德国污泥电厂掺烧总规模为401 000 tDS/a;截至2016年,经批准的燃煤电厂协同焚烧能力利用率低于50%。大多数电厂掺烧接收的污泥含固率在25%~35%,部分电厂只使用全干污泥,其他厂将全干污泥和脱水污泥混合后进入焚烧系统。

污泥掺烧比例控制出于两方面考虑,一方面是大气污染控制,尤其是挥发性较强的重金属,需遵照17.BImSchV法规的要求;另一方面是飞灰质量控制,飞灰通常用作建材,需要符合相应建材标准。大多数电厂中,污泥占燃料比例不超过5%被认为不会存在显著问题。硬煤发电厂可掺比例达5%,褐煤发电厂可掺比例达10%。

由于污泥进入电厂掺烧成本较低,该方式在某些地区占主导地位(如北莱茵-威斯特伐利亚州)。一方面,2029年污泥磷回收规定开始实行,将降低电厂掺烧污泥的能力;另一方面,德国逐步淘汰燃煤发电,电厂掺烧能力将持续下降。但精炼发电厂的粉煤灰磷回收是可行的。

(2)污泥与生活垃圾协同焚烧

2016年,与垃圾协同焚烧的污泥量约42 320 tDS,典型项目如Asdonkshof废弃物处置中心运营的协同焚烧工程,污泥年焚烧量7 993 t;EEW废物能源利用公司在Großräschen运营的协同焚烧工程,污泥年焚烧量2 185 t。污泥与生活垃圾协同焚烧时,污泥掺比不应超过20%。湿污泥应与垃圾充分混合,避免结块。污泥的加入将显著影响废气中的粉尘含量,烟气处理时需考虑这一点。

由于德国现状垃圾厂负荷较高,且未来只有磷含量低于20 g/kg的污泥才能协同焚烧,因此从2029年起,生活垃圾协同焚烧污泥的处理能力可能下降。

(3)水泥窑协同处置污泥

德国污泥与水泥窑协同处置在2004—2006年和2013—2016年有明显增长,2016年干基处理量达到约125 000 t。2004—2006年的增长主要是由于城市废物技术导则规定了禁止未处理废物填埋,2013—2016年的增长主要是气候和资源保护活动的兴起。同垃圾协同焚烧相似,从2029年起,水泥窑协同处置污泥能力可能下降。

进入水泥窑协同处置前,污泥通常需要进行干化。污泥投加量受磷和汞含量的影响,其中磷可以影响熟料质量;由于缺少烟气净化系统,污泥中含汞将增加大气排放污染风险。此外,重金属含量应满足17.BImSchV法规的要求。

2.2 日本

2.2.1 相关法规和标准

(1)建立循环型社会基本法

日本政府非常重视对各类废弃物的循环利用,确立了减量控制(reduce)、回收利用(reuse)和循环再利用(recycle)的废弃物循环利用“3R”原则。2000年,为了推进确保3R实施和废弃物妥善处理的循环型社会的构建,日本制定了《建立循环型社会基本法》,明确了循环型社会应抑制天然资源消耗和减少环境负荷,对资源循环利用和固废处理的优先顺位(控制产生→再使用→再生利用→热回收→妥善处理)进行了法律规制。

(2)废弃物管理和公共清洁法

日本于1970年制定了《废弃物管理和公共清洁法》,并多次修订,是一部废弃物管理方面的综合性法律。日本的固体废弃物综合管理计划包括:政策(监管、财政等)、技术(基础设备和运营)、自愿措施(意识/教育、自我监管)、涵盖废弃物管理各方面的管理体系(废弃物产生、收集、转移、运输、分类、处

理、处置)、废弃物特征和产量的数据和信息(包括未来趋势)、评估现有废弃物管理系统以确定是否满足运营阶段需要等。

(3)肥料取缔法

日本的《肥料取缔法》制定了污泥肥料质量标准 and 等级要求,提出砷、镉、汞、铬、铅 6 种污染物限值,规定了以防止重金属累积为导向的施用原则。根据污泥肥料分类,污泥经浓缩、消化、脱水或干化后可制成下水污泥肥料;下水污泥肥料、粪尿污泥肥料等经焚烧可制成烧成污泥肥料,经发酵可制成污泥发酵肥料。

(4)大气污染控制相关法规

日本受限于地域面积和地理环境,污泥焚烧在众多处置手段中应用比例较高。污泥焚烧的污染物控制标准参考垃圾焚烧执行,主要包括《大气污染防治法》和《二噁英类特别防治法定标准》。

《大气污染防治法》是日本大气污染对策重要的法律基础,它对烟尘、挥发性有机物、汞、飞灰和 NO_x 等作出排放限值确定原则和要求。《二噁英特别防治法定标准》则规定了不同处理规模新建和已建焚烧炉的二噁英排放标准。

2.2.2 技术应用现状

日本年产生污泥干基量约为 220 万 t,主要处理处置方式包括填埋、建材利用、土地利用、燃料化利用等。其中建材化利用为主要处理处置方式,约占 40%,其次是填埋和土地利用。日本注重污泥中资源开发和能源回收,发布了一系列政策文件促进污泥的肥料化和燃料化,其目标为到 2030 年能源化率提高至 37%。

(1)协同焚烧

垃圾协同焚烧方面,日本高砂市、金泽市和北九州市等地均有应用,其中北九州市协同焚烧工程利用废热回收的蒸汽将脱水污泥干化到含水率 40%后入炉焚烧。水泥窑协同处置方面,日本正在积极推行利用污水污泥和城市生活垃圾焚烧炉飞灰作为生产波特兰水泥和混凝土骨料的替代原料,水泥公司 Taiheiyo 还开发了一种专门标识为“生态水泥”的共处理水泥产品。目前,日本大力推广将污泥制成固体燃料后送入电厂替代部分燃煤进行发电,污泥热处理技术将从过去的单一焚烧向燃料化方式转变。

(2)协同厌氧消化

协同厌氧消化主要将污水厂污泥与化粪池污泥、粪便、农村污泥、餐厨等进行混合消化,产生沼气

进行发电,具有可观的经济效益。典型案例见表 1。

表 1 日本协同厌氧消化案例

地点	污水厂处理能力/(m ³ ·d ⁻¹)	接收物料种类	经济效益
北海道 北广岛市	34 500	粪尿、净化槽污泥、农村排水污泥、厨余	粪尿维持管理费每年削减 1 亿日元;削减 30%建设费
北海道 惠庭市	47 500	粪尿、净化槽污泥、厨余	发电量占用电量的 38%(每年削减约 2 000 万日元)
富山县 黑部市	22 000	净化槽污泥、农村排水污泥、厨余、食品废弃物	区域一体化处理,处理成本削减
石山县 珠洲市	3 600	粪尿、净化槽污泥、农村排水污泥、餐厨	燃料费、污泥处置费每年削减约 5 700 万日元

3 污泥协同处理处置发展趋势

在绿色低碳和循环经济全球化的今天,污泥协同处理处置将污泥与其他物料共同焚烧或厌氧消化,充分依托已有设备、发挥协同效应,可有效实现污泥能源回收、提升资源效益、降低投资和运行成本、减少碳排放,具有显著经济效益和应用潜力。在双碳战略背景下,我国能源结构正在面临变革与优化,污泥协同焚烧将助力电力和水泥等传统高耗能行业绿色转型;此外,随着我国垃圾分类全面实施,餐厨垃圾处理需求增长,协同厌氧消化具有广阔的应用前景。

通过分析国外污泥协同处理处置经验,可为国内技术应用提供参考。法规标准方面,国内应加快提出污泥协同处理处置的二次污染控制措施,合理制定大气排放标准和烟气处理设施新增要求;政策管理方面,由于涉及跨行业活动,相关部门和运行单位之间的衔接协调是难点,需以法规为指导,进一步出台相关鼓励政策和管理措施推动技术应用;技术落地方面,建议充分挖掘污泥能源和资源潜力,推进产物市场化、产品化。

参考文献:

[1] 国家发展改革委,住房和城乡建设部,生态环境部.关于印发《污泥无害化处理和资源化利用实施方案》的通知[EB/OL]. https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202209/t20220927_1337109.html.
[2] 余毅.污泥与生活垃圾协同焚烧处理设计工艺研究——以上海松江区污泥与生活垃圾协同焚烧处理工程为例[J].环境卫生工程, 2018, 26(4):4-8.
[3] 蹇瑞欢. 关于生活垃圾焚烧与污泥处理协同处置的分析研究[C]//《环境工程》2018 年全国学术年会, 2018.
[4] 马津麟,张蒙雨.生活垃圾焚烧厂协同处置污泥的技术研究[J].科技与创新, 2023(9):14-15.
[5] 刘涛.污泥掺烧比例对生活垃圾协同处置的经济影响分析[J].给水

(下转第 56 页)

2.3 主进场路线形指标建议

为兼顾建筑造型,减少旅客步行距离等,枢纽机场航站楼空间布局常采用一定尺度弧形的建筑构造;受此影响陆侧道路的线形指标需相应匹配,结合北京大兴国际机场、成都天府国际机场,广州白云国际机场三期扩建工程经验,主进场路楼前段的曲线半径不宜小于350 m;主进场路其他路段曲线半径不宜小于300 m。当充分考虑航站区循环路通过辅助车道接入主环路,同时兼顾旅客车辆行驶的舒适性时,航站区范围的主进场路纵向长度不宜小于1 200 m,横向长度不宜小于500 m,见图6。



图6 主进场路线形指标示意图

3 陆侧道路交通系统其他特性

枢纽机场的陆侧道路交通系统除充分满足服务旅客的交通功能外,尚需具备防灾减灾、应急处置等弹性特质。受空间布局影响,陆侧道路交通系统具有末端特性,当航站区遭遇极端天气或恐怖袭击时,陆

侧道路交通系统的规划建设应具备弹性修复能力,设施设备应具有一定前瞻性及富余性,可通过增设应急专用通道,应急管理专用车位,可变交通标志牌,智慧交通监控及管理系统等方式提高陆侧道路交通系统防灾减灾、应急处置的弹性能力。

4 结 语

结合北京大兴国际机场、成都天府国际机场,广州白云国际机场三期扩建工程等经验,我国枢纽机场陆侧道路交通系统宜采用主要车流逐级分离,次要车流依托主环路各自成环,减少交织的交通组织原则。

综合集约用地、减少道路对地块空间割裂的考虑,主进场路宜采用整体式布局及高架桥梁形式进行交通组织;并应采用适宜的道路线形指标,提高车流畅行的连续性,旅客车辆行驶的舒适性,减少车流交织。

此外陆侧道路交通系统的规划建设应具有一定前瞻性及富余性,兼具防灾减灾、应急处置功能。

参考文献:

- [1] 王晓群.从首都机场到大兴机场看航站楼建筑的十年发展[J].世界建筑,2020(6):50-51.
- [2] 杨立峰.大型机场航站区陆侧道路交通组织与规划研究[J].交通与运输(学术版),2018(1):1-3.
- [3] 许瑶峰.我国枢纽机场陆侧交通组织的特点与问题分析[J].华中建筑,2012(6):69-70.
- [4] 赵姝.新形势下机场陆侧区域控制性详细规划策略初探——以成都天府国际机场为例[J].四川建筑,2018(6):8-9.

(上接第27页)

- 排水,2021,57(6):61-67.
- [6] 姚启良.生活垃圾焚烧发电协同处置市政污泥应用研究[J].节能与环保,2018(10):42-43.
 - [7] 符成龙,沙丰,宋婕,等.燃煤电厂污泥掺烧技术的应用与设计探讨[J].能源与环境,2020(6):46-48.
 - [8] 王飞,张盛,王丽花.燃煤耦合污泥焚烧发电技术研究进展[J].洁净煤技术,2022,28(3):82-94.
 - [9] 周义,张守玉,郎森,等.煤粉炉掺烧生物质发电技术研究进展[J].洁净煤技术,2022,28(6):26-34.
 - [10] 孟春霖,颜莹莹,梁远,等.关于污泥火电厂协同焚烧的控制性指

标的思考和建议[J].中国给水排水,2021,37(14):46-55.

- [11] 杭世珺,关春雨,戴晓虎,等.污泥水泥窑协同处置现状与展望(上)[J].给水排水,2019,55(4):39-43.
- [12] 陈锐章,陶从喜,赵必胜,等.水泥窑协同处置城市干化污泥技术及其工程化应用[J].水泥技术,2023(3):25-31.
- [13] 韦娟,姚瑞宏,刘琪璇,等.市政污泥资源化集中处置(水泥窑协同)工程案例分析[J].水泥工程,2020(3):69-72.
- [14] 陈慧.水泥窑协同处置污泥技术探讨[J].水泥工程,2020(2):69-71.
- [15] 李晓帅,张栋,戴翎翎,等.污泥与餐厨垃圾联合厌氧消化产甲烷研究进展[J].环境工程,2015,33(9):100-104.