

附件 3

**《污染源源强核算技术指南 锅炉
(征求意见稿) 》 编制说明**

《污染源源强核算技术指南 锅炉》编制组

2018 年 7 月

目 录

1 项目背景	1
1.1 任务来源	1
1.2 工作过程	1
2 我国工业锅炉概况	2
2.1 我国锅炉的发展现状.....	2
2.2 污染防治水平.....	3
2.3 污染防治技术.....	6
3 标准制订的必要性分析.....	7
3.1 相关环保标准和环保工作的需要.....	7
3.2 规范统一污染源源强核算技术方法.....	9
4 国外相关标准调研	9
4.1 主要国家、地区及国际组织相关标准情况.....	9
4.2 国内污染源源强体系情况.....	10
5 标准制订基本原则与技术路线.....	11
5.1 标准制订的基本原则.....	11
5.2 标准制订的工作方法.....	11
5.3 标准制订的技术路线.....	11
6 标准主要技术内容.....	13
6.1 适用范围	13
6.2 规范性引用文件.....	13
6.3 术语和定义	13
6.4 核算方法及方法选取原则.....	14
6.5 废气污染源源强核算.....	15
6.6 废水污染源源强核算.....	27
6.7 噪声污染源强核算.....	30
6.8 固体废物污染源强核算.....	32
6.9 管理要求	36
6.10 附录	36
7 实施本标准的管理措施、技术措施、实施方案建议.....	37
7.1 进一步强化自动监测系统对污染源强核算的有效支撑.....	37
7.2 加强培训，推进标准实施.....	37
7.3 适时开展标准实施评估.....	37
参考文献	38

1 项目背景

1.1 任务来源

为完善建设项目环境影响评价技术支撑体系,指导各行业锅炉建设项目污染源源强核算工作,原环境保护部环境影响评价司将《污染源源强核算技术指南 锅炉》(以下简称《指南》)列入2017年财政项目《环境影响评价》(一级项目),作为二级项目《排污许可综合协调管理与技术体系研究》子课题《重点行业污染源源强核算技术体系研究》中的一项工作,委托环境保护部环境工程评估中心(以下简称评估中心)承担。

1.2 工作过程

《指南》制订工作过程按照《国家环境保护标准制修订工作管理办法》(国环规科技〔2017〕1号)相关要求开展。

2017年该项目立项后,根据工作需要,评估中心联合国电环境保护研究院有限公司、中国电力工程顾问集团东北电力设计院有限公司、天津市环境保护科学研究院、北京市劳动保护研究所共同成立了编制组,拟定了工作计划,组织开展了锅炉发展现状及趋势、国内外相关标准调研等工作,分析了当前污染源源强核算工作中存在的问题,初步明确了研究目标,设立了制订原则,确立了实施方法,制订了技术路线,梳理了研究内容、技术关键点及技术难点,提出了《指南》制订思路。

2017年3月28日,评估中心组织召开了《指南》开题论证会,编制组介绍了开题报告和标准草案的相关内容,经专家组讨论、质询,通过了开题论证,并形成如下工作建议:以大气污染源源强核算为重点,统筹考虑水、固体废物、噪声相关工作。

编制组根据专家意见,对《指南》编制思路进行了完善。2017年6月至9月份,进行了全面座谈、收资、函调和现场调研工作;2017年9月8日,在北京市召开了工业锅炉环境保护座谈会,针对目前工业锅炉发展、污染控制措施、正常情况等问题进行了深入讨论;收集了天津市环境保护科学研究院、北京市劳动保护研究所、北京市环境保护科学研究院等环评、科研机构的环境影响评价文件、测试研究成果,9月收到锅炉制造厂家、环保设备公司反馈的调研表格40余份;9月底对常州市8家、广东省2家使用锅炉单位开展现场调研和现场测试,重点调研了生产工艺、烟气排放控制措施和无组织排放控制措施、脱硫脱硝设施检修等非正常工况情况。在此基础上编制形成了《指南》初稿。

2017年11月8日,召开了工业锅炉污染物排放量核算专家咨询会,分别邀请了环保公司、

锅炉制造厂家、行业和环保管理部门的专家对《指南》初稿提出修改建议和提供相关研究资料。

2017年12月，编制组对初稿进一步修改完善，形成《指南》征求意见稿，第一次上报原环境保护部。随后，按照标准技术审查单位提供的函审专家意见进行修改后，再次上报。

2018年3月12日，原环境保护部环境影响评价司组织召开征求意见稿技术审查会，编制组汇报了指南和编制说明的相关内容，经专家组各位专家的讨论、质询，通过了标准征求意见稿技术审查。

2 我国工业锅炉概况

2.1 我国锅炉的发展现状

锅炉是利用燃料燃烧释放的热能或其他热能加热水或其他工质，以生产规定参数（温度、压力等）和品质的蒸汽、热水或其他工质的固定式设备。《指南》中的锅炉是电站锅炉（即适用 GB 13223 的火力发电锅炉）以外的执行 GB 13271 的生产、生活用锅炉（一般统称“工业锅炉”），不包括各类以生活垃圾、危险废物为燃料或以余热、地热、光热、原子能等为热源的锅炉。

截至2016年底，我国有工业锅炉约52万台（图1）^[1,2]，是当今世界工业锅炉生产和使用最多的国家。2014年以前，我国工业锅炉的总台数逐年增长，随着“大气十条”等环保政策的实施，2015年起工业锅炉总台数出现明显下降。

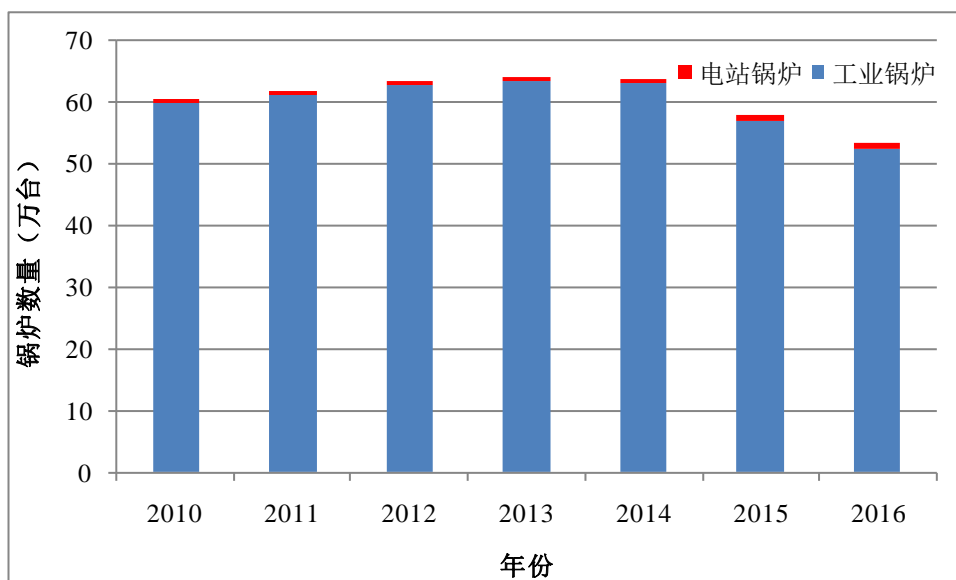


图1 我国工业锅炉的数量变化^[1,2]

我国工业锅炉受能源资源结构限制，燃煤、燃油（气）、燃生物质锅炉分别占约85%、14%、1%，发达国家工业锅炉燃用天然气等清洁燃料的比例一般都在90%以上^[3,4,5]。锅炉燃用天然气、轻油时燃烧效率一般可达98%以上。我国工业锅炉多燃用原煤，煤种多变，末煤比例60%~70%，

燃烧效率（一般不大于 80%）远低于火力发电锅炉（ $\geq 98\%$ ），实际热效率（60%~65%）也远低于火力发电锅炉（ $\geq 90\%$ ）^[3,6]。因此，我国燃煤工业锅炉消费的煤炭虽只有燃煤电厂的 1/3 左右，但燃料质量差、污染治理效率低使得其排放的 SO₂、NO_x、烟尘（颗粒物）总量是燃煤电厂的 2~8 倍^[7-9]。同时，我国工业锅炉多分布在工业和人口集中的城镇及周边等人口密集地区，加上烟囱高度远低于燃煤电厂，初步估计工业锅炉对城市大气污染贡献率达 45%~65%^[7-9]。

工业锅炉通常的燃烧方式有火床燃烧（层燃炉）、火室燃烧（室燃炉）、流化床燃烧（沸腾炉）^[3,6,10,11]。链条炉排炉、往复炉排炉、固定炉排炉等均为层燃炉，约占工业锅炉的 80%；煤粉炉、燃油炉、燃气炉为室燃炉，约占工业锅炉的 15%，循环流化床炉约占工业锅炉的 5%^[5]。一般情况下， $\leq 35\text{t/h}$ 的锅炉多选用层燃炉（其中链条炉占约 80%）^[6,10]。从保有数量分析，我国 $< 20\text{t/h}$ （特别是 $< 10\text{t/h}$ ）的中小型锅炉仍然占绝对优势（图 2）。

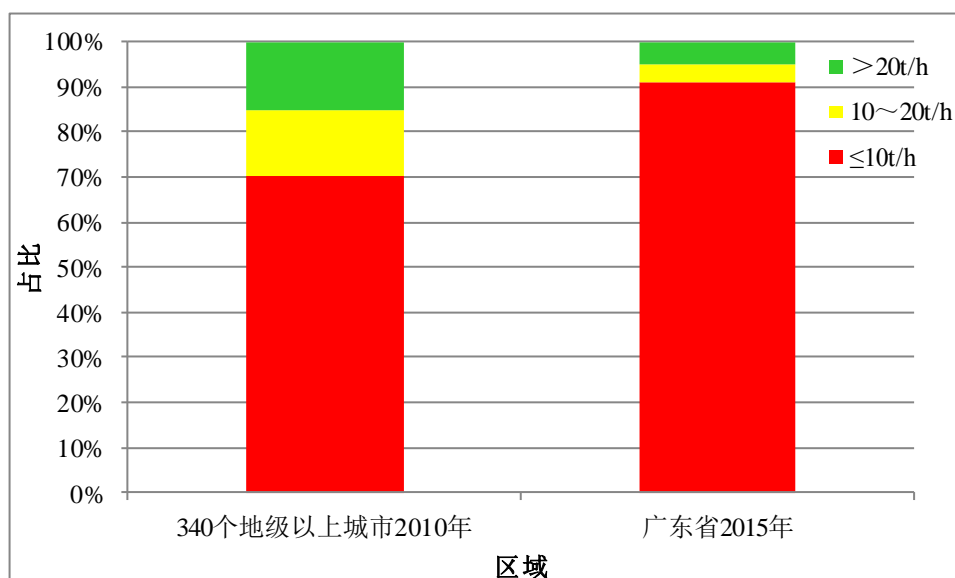


图 2 部分区域工业锅炉数量构成情况^[12]

2.2 锅炉主要生产工艺

根据锅炉生产工艺流程，锅炉排污单位主要生产单元分为燃煤锅炉、燃油/气锅炉、燃生物质锅炉、公用单元 4 大类。

(1) 燃煤锅炉

目前，国内燃煤锅炉主要生产工艺包括贮存系统、输送系统、备料系统和燃烧系统。贮存系统生产设施一般有煤仓/堆场、有机热载体储罐或水煤浆储罐等一种或多种形式。输送系统生产设施包括输煤皮带机和上煤斗等。备料系统包括碎煤机和筛分机等。燃烧系统按照燃烧方式不同可分为层燃炉、流化床炉和室燃炉。典型燃煤锅炉生产工艺流程（含典型污染物治理设施）见图 3~

图 5。

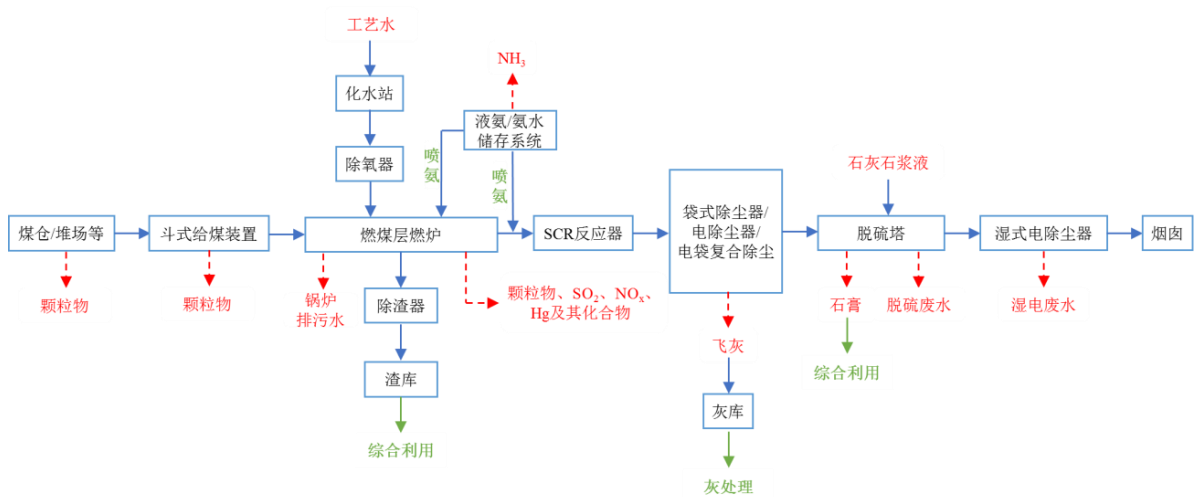


图3 典型燃煤锅炉（层燃炉）生产工艺流程图

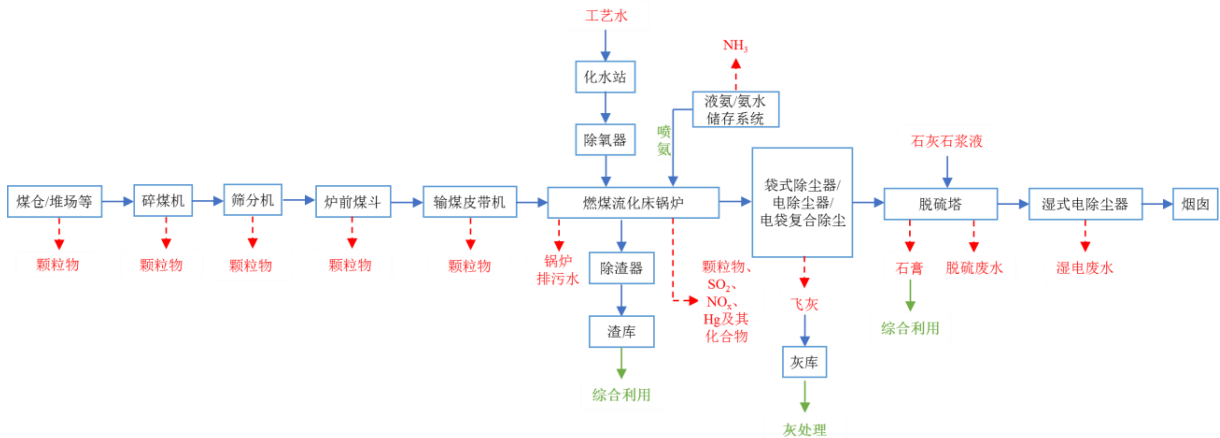


图 4 典型燃煤锅炉（流化床炉）生产流程图

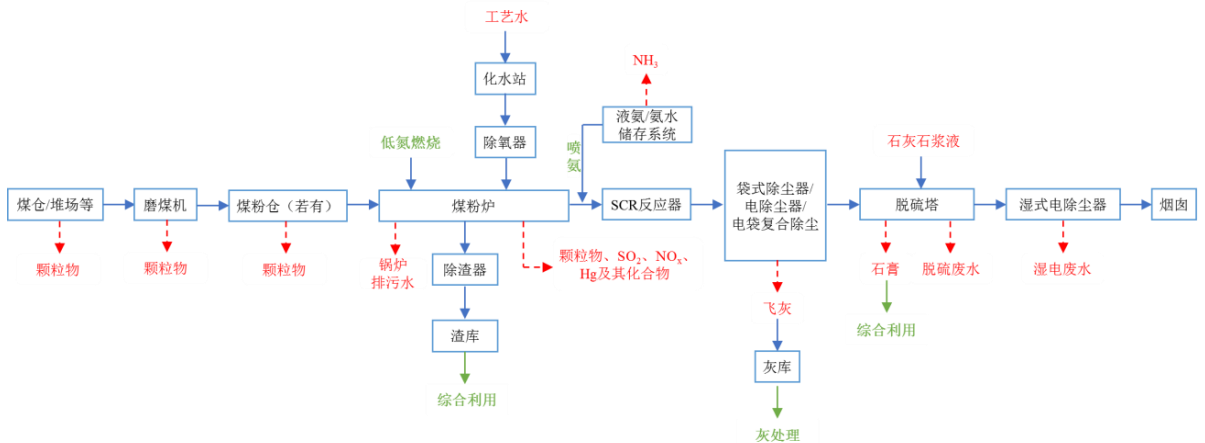


图 5 典型燃煤锅炉（室燃炉）生产工艺流程图

(2) 燃油/气锅炉

燃油/气锅炉主要生产工艺包括贮存系统和燃烧系统。贮存系统生产设施一般有燃油储罐、燃气储罐或有机热载体储罐等一种或多种形式。燃烧系统主要为室燃炉。典型燃油/气锅炉生产工艺

流程（含典型污染物治理设施）见图 6、图 7。

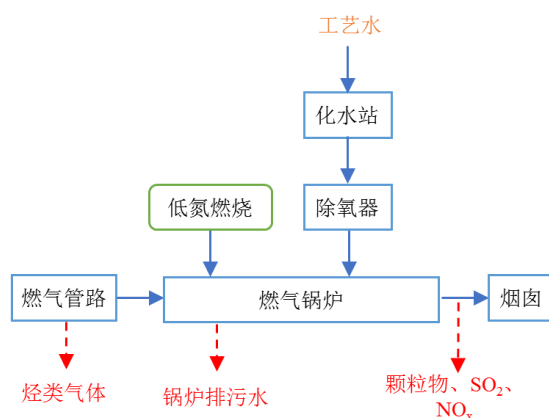


图 6 典型燃气锅炉（室燃炉）生产工艺流程图

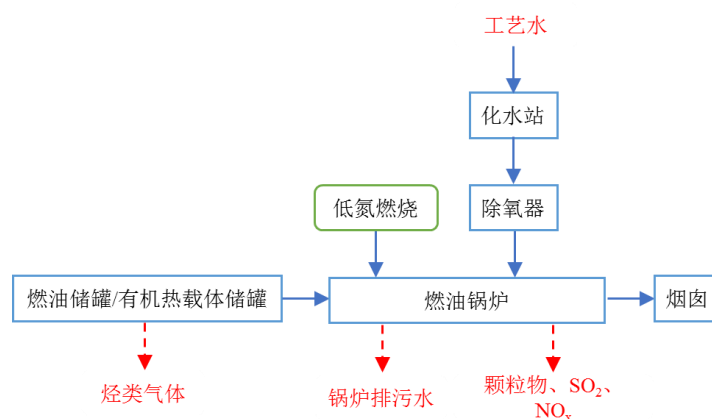


图 7 典型燃油锅炉（室燃炉）生产工艺流程图

（3）燃生物质锅炉

燃生物质锅炉主要生产工艺包括贮存系统、输送系统和燃烧系统。贮存系统生产设施主要为料仓。输送系统生产设施主要包括斗式提升机和抓斗式提升机等。燃烧系统按照燃烧方式不同可分为层燃炉、流化床炉和室燃炉。典型燃生物质锅炉生产工艺流程（含典型污染物治理设施）见图 8。

（4）公用单元

该生产单元主要生产工艺包括软化水制备系统和辅助系统。软化水制备系统生产设施主要包括多介质过滤装置、离子交换树脂罐或反渗透设备等。辅助系统生产设施包括灰库、灰渣场、脱硫副产物库房、氨水罐和液氨罐等。

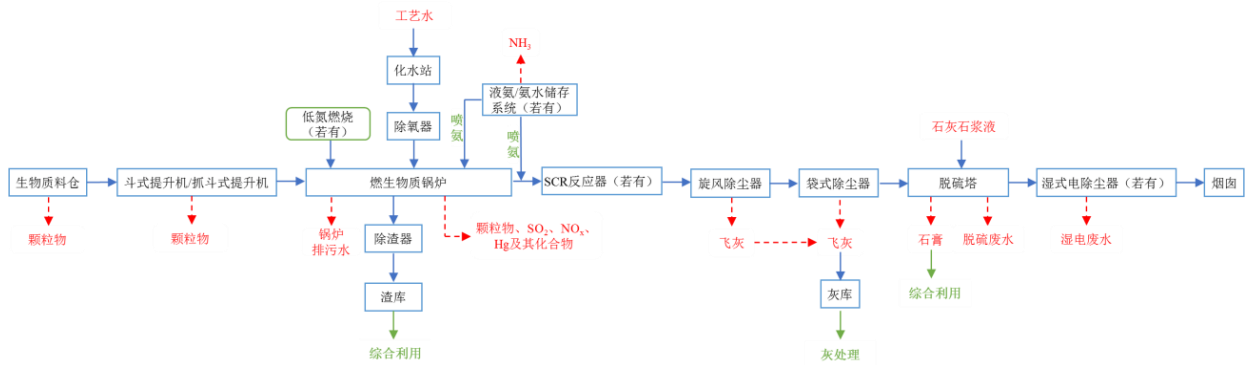


图 8 典型燃生物质锅炉（流化床炉）生产工艺流程图

2.3 污染防治技术

2.3.1 废气

工业锅炉污染物排放主要以废气为主。与电站锅炉相比，工业锅炉污染防治技术总体水平较低，废气污染防治技术受排放标准的影响较大，随着《锅炉大气污染物排放标准》（GB 13271-2014）的实施，治理技术逐渐得到快速发展。

（1）颗粒物（烟尘）污染防治技术

GB 13271-2014 发布之前，我国工业锅炉颗粒物污染防治技术以湿法除尘和机械除尘为主，这两种技术也是相对经济的措施。纳入 2015 年环境统计的全国锅炉基本都配置了除尘设施，除尘设施中湿法占 50%以上，其次是机械除尘。GB 13271-2014 发布后，布袋除尘技术得到大范围应用，此外，对于低灰低硫地区的锅炉仍有采用多管除尘等技术，也可达到国家标准。随着部分地标提出了超低排放要求，个别企业采用在湿法脱硫后增设湿式静电除尘器的措施，但受经济成本影响，多应用在规模较大的锅炉上。

（2）二氧化硫污染防治技术

据统计，我国煤中硫含量变化较大，最低为 0.04%，最高可达 9.62%，煤中硫分储量加权平均值为 1%左右，主要分布在华北、西北和东北等广大地区。我国高硫煤也占相当的比重，主要聚集区为华南和华东各省，另外，华北和西北局部地区也有少量高硫煤。全国商品煤的硫分以低硫煤和特低硫煤为主，硫分小于 1%的占煤炭总量的 70%以上，硫分大于 2%的中高硫煤占商品煤总量的 10%左右，高硫商品煤的比例很少。未经过洗选的原煤，灰分硫分较高，且粒度较差，尤其是遇到煤炭供应紧张的局面时，煤炭供应多不能满足锅炉的设计要求，导致燃烧效率差，污染物排放水平较高。因此，燃煤锅炉 SO₂ 的控制宜首选低硫煤。

在首选低硫煤基础上，针对燃煤锅炉，按照锅炉燃烧方式的不同对应脱硫末端治理技术也存

在差异。GB 13271-2014 发布前，对于层燃炉和室燃炉，中小型锅炉烟气净化技术以钠碱法和钠钙双碱法为主，约占锅炉烟气净化技术的 80% 以上，其次为氨法和氧化镁法。GB 13271-2014 发布后，石灰石-石膏湿法脱硫技术在执行特别排放限值 200mg/m³，尤其是地方标准更严格的 100mg/m³ 的大型锅炉上，应用逐渐增多，其次为氧化镁法，双碱法在大型锅炉执行低排放标准情况下应用较少。对于循环流化床锅炉一般主要采用干法/半干法脱硫技术（烟气循环流化床法、炉内喷钙法、旋转喷雾干燥法等）。

（3）氮氧化物污染防治技术

GB 13271-2014 发布之前，我国燃煤锅炉氮氧化物无控制指标。GB 13271-2014 发布后，我国工业锅炉 NO_x 治理开始起步。根据调研，燃煤锅炉 NO_x 治理首选低氮燃烧技术，其中，层燃炉通过改炉拱和合理配风可以实现低氮燃烧，还可以采用烟气再燃、混燃技术；室燃炉具有成熟的低氮燃烧器；循环流化床锅炉由于低温燃烧本身具备低氮燃烧的优势。但对于部分执行低标准限值的地区，单纯依靠低氮燃烧技术难以实现较严格的控制限值要求，需要在低氮燃烧基础上配备脱硝治理措施。一般对于在用层燃和室燃方式的锅炉氮氧化物治理技术主要为低氮燃烧技术、低氮燃烧+SNCR 或 SCR 等；对于重点地区的层燃和室燃方式的锅炉氮氧化物治理技术主要为低氮燃烧+SNCR 或 SCR 等；对于循环流化床锅炉氮氧化物治理技术主要为 SNCR 或 SNCR-SCR 联合脱硝技术等。

2.3.2 其他

锅炉产生的废水通常包括锅炉排污水、锅炉补给水处理系统工艺废水、脱硫废水以及含煤废水，排水量和污染物相对较小。产生固体废物的环节集中在燃煤灰渣或固硫灰渣、脱硫副产物（如石膏）、水处理站污泥、废弃除尘布袋、废 SCR 催化剂（钒钛系）、废矿物油等，主要用于综合利用或回收。

3 标准制订的必要性分析

3.1 相关环保标准和环保工作的需要

原环境保护部《“十三五”环境影响评价改革实施方案》中将“优化技术导则体系”列为技术支撑之一，明确“建立以改善环境质量为核心的源强、要素、专题技术导则体系”。

新修订的《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）进一步明确，建设项目环境影响评价技术导则体系由总纲、污染源源强核算技术指南、环境要素环境影响评价技术导则、专题环境影响评价技术导则和行业建设项目环境影响评价技术导则等构成。其中，污染源源强核

算技术指南由《污染源源强核算技术指南 准则》（HJ 884-2018）和各行业污染源源强核算技术指南组成。此外，HJ2.1-2016 中明确环境影响评价工程分析中包括污染源源强核算内容，核算方法由污染源源强核算技术指南具体规定。

原环境保护部制订了“十三五”导则制修订工作计划，确定了导则制修订重点。通过制订一批污染源源强核算技术指南，增强环评的针对性和科学性。拟在 2018 年已发布的《污染源源强核算技术指南 准则》（HJ 884-2018）以及火电、制浆造纸、钢铁、水泥等行业技术指南的基础上，继续完成锅炉、石油炼制、有色金属、炼焦化学、电镀、平板玻璃、化肥、农药、纺织印染等行业的源强核算技术指南的编制。

《污染源源强核算技术指南 准则》（HJ 884-2018）对不同地区（环境质量不达标区域、达标区域）环境保护措施污染治理技术的参数选取，以及污染物排放量核算范围（正常和非正常工况的排放）等方面都进行了明确规定，但锅炉现行的污染物排放标准、工程设计规范等不能满足上述污染源源强核算要求。

由于我国现行的建设项目环境影响评价技术导则体系中对于锅炉建设项目尚无统一规范的源强核算方法体系，因此不同环评机构在进行建设项目环评中的源强核算时，使用的方法各不相同，影响环境预测的准确性和后续管理的针对性，且现行源强核算体系未包含污染源非正常工况下的源强核算等内容。为完善全国各行业锅炉建设项目环境影响评价技术支撑体系，指导和规范建设项目环境影响评价中污染源源强核算，制订《指南》十分必要。

3.2 规范统一污染源源强核算技术方法

美国、欧盟等发达国家和地区拥有完善的源强核算技术方法体系，并有效支撑了各种环境管理制度。目前，我国污染源强核算工作基础薄弱，国家尚未出台有关源强核算的技术规范，核算方法主要包括类比法、实测法、排污系数法、物料衡算法等。但各种核算方法的适用条件模糊，计算原理不尽相同，参数选取原则不尽完善，导致各类源强核算结果差异较大。同时，实际排放量的确定方法在全国范围内尚未统一，一些企业还存在多套排放量的统计数据，带来了数据混淆的问题。因此，急需对源强核算方法进行统一和规范，指导企业和环评机构核算污染物排放量。

2018 年生态环境部发布了《污染源源强核算技术指南 准则》，是污染源源强核算的纲领性文件，对各行业污染源源强核算指南的核算程序、技术要求、核算方法进行了统一要求，提出行业指南应分别明确各核算方法的适用对象、计算公式、参数意义以及核算要求，应针对不同污染源类型、污染物特性，区分新（改、扩）建工程污染源和现有工程污染源，分别确定污染源源强核算方法，并给出核算方法的优先级别。本《指南》是在准则基础上，对锅炉建设项目污染源源强核算方法进一步提出相关要求。

4 国外相关标准调研

4.1 主要国家、地区及国际组织相关标准情况的研究

(1) 美国

污染源源强是环境影响预测的先决条件之一，源强的准确性直接关系到环评结论的可行程度。国外在源强核算方面进行了一系列的研究和探索，部分西方发达国家已建立了较为完善的污染源源强管理体系。

美国的工业污染源大气污染源源强核算是在污染物排放清单的基础上建立开展的，其进行污染源源强核算的主要方式是采用《排放清单改进计划》（EIIIP）中通用工艺过程与行业分类相结合的方式，明确了通用工艺过程和行业特殊工艺过程中污染的主要排放环节和排放物种类。其规定的需核算的大气污染物主要包括常规大气污染物，如可吸入颗粒物、细颗粒物、二氧化硫、氮氧化物、一氧化碳、氨气、挥发性有机物等，以及《清洁空气法》中规定的 188 种有毒有害大气污染物（HAPs）。EIIIP 中推荐的核算方法主要有实测法（包括基于 CEMS 数据的在线监测实测法和现场采样的手工监测法）、物料衡算法和排放系数法等三大类；同时，结合以上方法的排放核算数据和实际工艺运行参数，开发了模型预测法及相关计算程序；此外，根据某些污染源的排污特点，也给出了单独的核算方法，如针对锅炉大气污染物排放核算的燃料分析法等。根据核算数据的可靠性以及获取数据的成本，EIIIP 确定了各种污染物的优先选用和可替代性的核算方法，明确了各核算方法的优先级别、方法类型、应用对象或条件、数据与系数选取、计算要求等。无论是优先选用还是可替代性的核算方法，都应保证对每个特定的污染源及其污染物的计算方法是可行的，所得数据是可用的，所得数据必须满足质量控制要求。在一般情况下，优先选用的方法是最准确、最可行的核算方法；可替代的方法则是在特殊情况下，核算机构不能使用优先选用方法时的备用方法。当一种核算方法的核算数据非常准确，但其获得难度非常大或费用非常昂贵时，不作为优先选用方法，但可作为可替代方法。以锅炉排放的有机化合物核算方法为例，优先选用手工监测法，可替代性核算方法为排放系数法。

针对排放系数法，美国 EPA 编制了用于工业污染源源强核算的《大气污染物排放系数汇编》（Compilation of Air Pollutant Emission Factors）即 AP-42 手册，AP-42 于 1968 年发布，至今定期保持更新，现行 AP-42 为 1995 年 1 月颁布的第五版本，是美国空气质量管理的重要工具。AP-42 规定了美国环保局确定的需要优先考虑的排放清单中的污染物排放源强，排放源强是美国一些典型的、共性的可靠数据的平均值。对于电站锅炉、工业锅炉等燃烧装置按照燃煤种类烟煤、亚烟煤、无烟煤、褐煤等分别介绍其治理技术及排放源强。AP-42 就不同污染源各种污染因子排放量

的估算做出了详细的说明，并按照其可靠性、准确性加以分级（由 A 到 E，A-E 分别表示非常可信、高于平均可信度、平均可信度、低于平均可信度、可信度非常低）。根据 AP-42 提供的排放因子和对应的削减率参数，可以运用下式计算得到某污染物的排放量。

$$E = A \times EF \times (1 - ER / 100)$$

式中：E 为排放量；A 为活动水平；EF 为排放因子；ER 为削减率（%）。

（2）欧盟

欧盟环保署对于污染源源强的排放因子规定了统一的参考指南，排放源强数据主要取自当地检测机构和行业协会等部门调查资料及技术标准或类似技术资料、出版社和环境报告的国家或区域排放因子数据、各大学和研究所的其他普查或调查测量数据、联合国大气污染物清单指南（IPCC）和美国 AP-42，其中化石燃料燃烧参考美国 AP-42。

4.2 国内污染源源强体系情况

（1）行业污染源源强核算技术指南

2018 年生态环境部发布了《污染源源强核算技术指南 准则》（HJ 884-2018）以及火电、制浆造纸、钢铁、水泥等行业技术指南（生态环境部公告 2018 年第 2 号）。

《污染源源强核算技术指南 准则》是污染源源强核算的纲领性文件，对各行业污染源源强核算指南的核算程序、技术要求、核算方法进行了统一要求，可用于指导各行业污染源源强核算技术指南的编制。《污染源源强核算技术指南 准则》（HJ 884-2018）与各行业污染源源强核算技术指南共同构成源强核算技术指南体系，是环境影响评价技术导则体系的重要组成部分。

各行业污染源源强核算技术指南中规定了适用范围、规范性引用文件、术语和定义、源强核算程序、废气污染源源强核算方法、废水污染源源强核算方法、噪声源强核算方法、固体废物源强核算方法、其他共九部分的内容。

（2）工业锅炉相关标准情况

2006 年，我国在开展全国第一次污染源普查基础上，发布了《全国污染源普查工业污染源产排污系数手册》，第一次对主要工业行业的重点污染源、污染因子提出了全面的产排污系数，为污染源源强核算奠定了基础。

《锅炉大气污染物排放标准》（GB 13271-2014）加严了主要污染物的排放限值，制定严格的污染物特别排放限值，正式实施以来推动了锅炉行业污染控制水平大幅度提升。

随着我国污染物总量减排工作以及排污收费工作的不断完善，原环境保护部出台了一系列二氧化硫、氮氧化物、颗粒物等主要污染因子的源强核算办法。但总体来讲，锅炉通常作为工业企

业的附属工程，其源强核算并未受到重视。

《指南》按照《污染源源强核算技术指南 准则》（HJ 884-2018），结合锅炉产排污特点、排放标准等要求，参照各行业污染源源强核算技术指南的思路、框架内容，开展相关专题研究，细化、完善形成《指南》（征求意见稿）。

5 标准制订基本原则与技术路线

5.1 标准制订的基本原则

（1）满足环评工作需要

规范和统一工业锅炉建设项目新（改、扩）建工程、现有工程污染源源强核算方法，使核算结果能作为建设项目环评的充分依据。

（2）涵盖行业主要污染源及污染因子

力求涵盖行业的主要污染源及污染因子，污染源按环境要素囊括废气排放源（有组织、无组织）、废水排放源、噪声排放源和固体废物排放源，污染因子主要考虑行业排放标准中严格控制的因子。

（3）具有普遍适用性，易于使用

根据工业锅炉的实际情况，结合各污染源、污染因子的特点，按照《污染源源强核算技术指南 准则》（HJ 884-2018）的要求提出《指南》的技术要点，以保证最大限度地与工业锅炉建设项目的实际情况相吻合，使《指南》具有行业针对性和代表性，且易于咨询机构、锅炉企业、管理机构等不同人员使用。

5.2 标准制订的工作方法

综合运用资料收集、现场调研、专题研讨、专家咨询、意见征求、案例分析等研究方法，开展技术指南的制订。

开展企业调研，了解并掌握行业环境保护、政策法规及技术现状的基础上，编制《污染源源强核算技术指南 锅炉》（标准草案），并通过专家指导、意见征求等多种形式，编制完成征求意见稿。

5.3 标准制订的技术路线

编制组通过文献调研、现场调研、专家咨询等方法，了解行业发展概况、污染物排放与控制情况、环境管理现状，通过调研行业基础数据，确定《指南》的适用范围和源强核算因子；了解国内外污染源源强核算方法，结合锅炉运行企业的排污特点，确定工业锅炉建设项目污染源源强

核算因子的核算方法及优先级别，确定各核算方法关键参数；通过专家咨询、开展重点地区、典型企业现场调研等方法，收集典型企业排污数据，对《指南》推荐的源强核算方法及其重要参数进行验证、修正；通过全国征求意见、专家咨询等方式，完成《指南》的编制、报批、发布工作。

《指南》制订技术路线见图9。

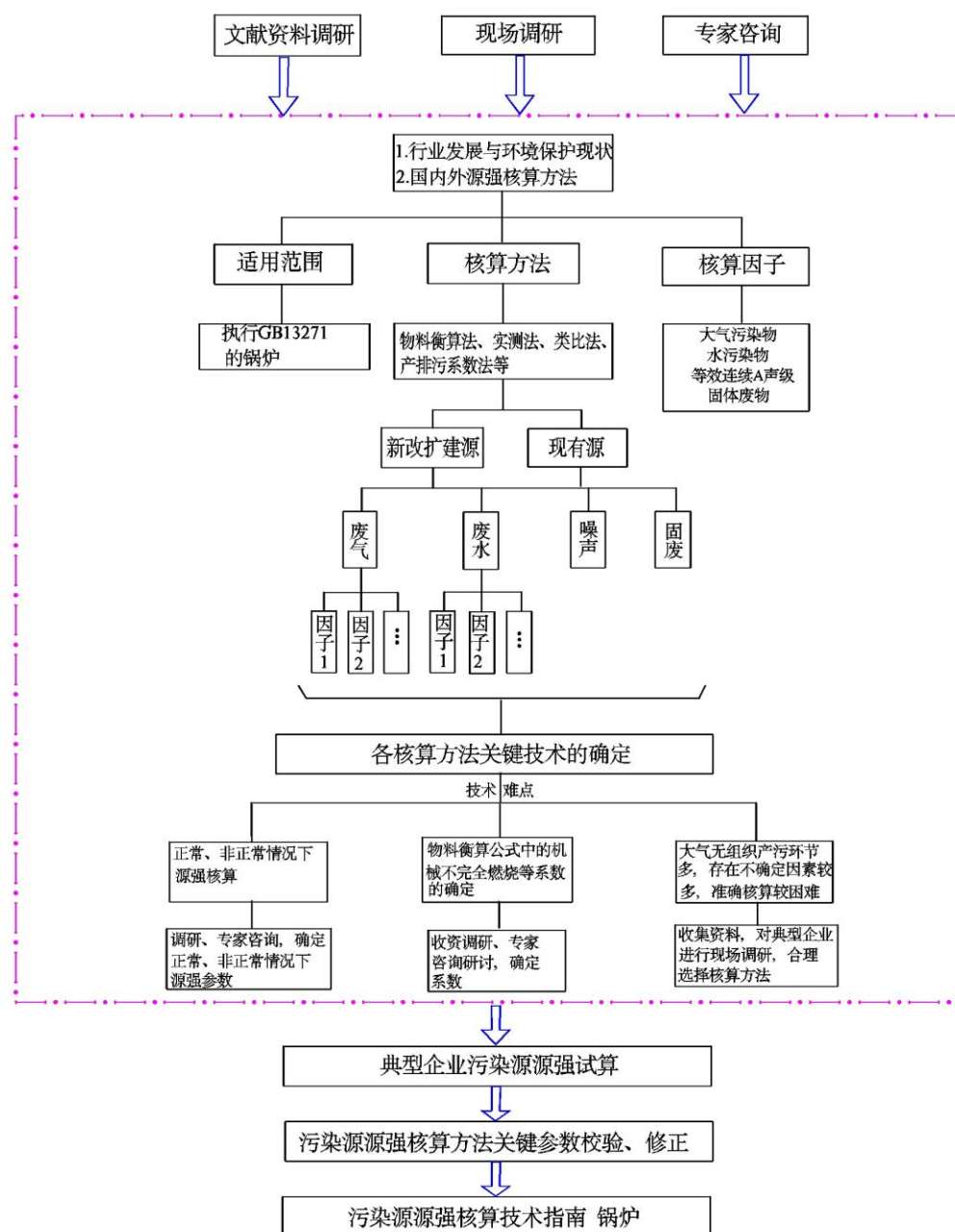


图9 《指南》制订技术路线

6 标准主要技术内容

本标准分为以下 9 项内容及附录。

- 1 适用范围
 - 2 规范性引用文件
 - 3 术语和定义
 - 4 源强核算程序
 - 5 废气污染源源强核算方法
 - 6 废水污染源源强核算方法
 - 7 噪声污染源强核算方法
 - 8 固体废物污染源强核算方法
 - 9 其他
- 附录

6.1 适用范围

《指南》适用于工业锅炉建设项目环境影响评价中新（改、扩）建污染源和现有工程污染源源强核算。

《指南》适用于工业锅炉正常和非正常工况运行下产生的污染源源强核算，不适用于突发泄漏、火灾、爆炸等事故情况下的源强核算。

《指南》适用于执行 GB 13271 的建设项目环境影响评价中污染源源强的确定，不包括电站锅炉，也不包括各类以生活垃圾、危险废物为燃料或以余热、地热、光热、原子能等为热源的锅炉。

6.2 规范性引用文件

给出了《指南》引用的有关文件，主要为行业排放标准、相关监测统计技术标准规范和环境影响评价技术导则。

6.3 术语和定义

《指南》对其他标准中定义的术语不再重复，就锅炉、非正常工况进行了术语定义。《指南》中锅炉指的是锅炉本体及脱硫、脱硝、除尘等相关辅助和附属设备的系统集成。

6.4 核算方法及方法选取原则

《指南》规定了污染源源强核算方法，包括实测法、类比法、物料衡算法和排污系数法等。按照环境要素、污染源类型分别给出了不同污染物的源强核算方法优先次序，在核算源强时，应按照优先次序依次选取核算方法，如采用排序靠后的核算方法，应说明无法采用优先推荐核算方法的理由。

采用实测法核算源强时，对 HJ 820 及排污单位排污许可证等要求采用自动监测的污染因子，仅可采用有效的自动监测数据进行核算；对 HJ 820 及排污单位排污许可证等未要求采用自动监测的污染因子，优先采用有效的自动监测数据，其次采用手工监测数据。

采用类比法核算源强时，需满足以下适用原则方可类比：类比对象的原料（燃料）/辅料/副产物类型相同（原则上成分差异不超过 20%），生产工艺相同，规模等级相同（原则上规模差异不超过 30%），污染治理工艺相同（原则上治理效率不高于核算对象设计效率）。应类比符合适用原则的现有工程污染源实测数据进行核算。

（1）新（改、扩）建工程污染源源强核算的选取次序如下：

a) 废气：

废气有组织源强优先采用物料衡算法核算，其次采用排污系数法核算；非正常工况时采用类比法核算。

废气无组织源强采用类比法核算；料/堆场采用全封闭式、储罐采用密闭容器的，一般情况下废气无组织源强可按 0 考虑。

b) 废水

污染源源强优先采用类比法核算，其次采用排污系数法核算。

c) 噪声

污染源源强采用类比法核算。

d) 固体废物

灰渣、脱硫副产物源强优先采用物料衡算法核算，其次采用排污系数法核算；废脱硝催化剂等其他固体废物采用类比法核算。

（2）现有工程污染源源强核算的选取次序如下：

a) 废气

废气有组织源强优先采用实测法核算，其次采用物料衡算法、排污系数法核算；非正常工况时优先采用实测法核算，其次采用类比法核算。

废气无组织源强优先采用实测法核算，其次采用类比法核算。

b) 废水

污染源源强优先采用实测法核算，其次采用排污系数法核算。

c) 噪声

污染源源强优先采用实测法核算，其次采用类比法核算。

d) 固体废物

灰渣、脱硫副产物源强优先采用实测法核算，其次采用物料衡算法、排污系数法核算；废脱硝催化剂等其他固体废物采用实测法核算。

6.5 废气污染源源强核算

6.5.1 污染源及污染因子

6.5.1.1 废气污染源种类

国内外对工业锅炉排放烟气中污染物的控制集中于 SO_2 、 NO_x 、烟尘（颗粒物），部分发达国家如美国已开始控制重金属。我国 GB 13271-2014 污染物控制因子为 SO_2 、 NO_x 、颗粒物、汞及其化合物，北京、天津、河北等地还制定了更严格的地方排放标准，部分地区燃煤锅炉、生物质锅炉已按照燃气锅炉排放水平进行改造或建设。

工业锅炉废气主要产污环节为：

(1) 原料（燃料）系统。产污环节为燃料在装卸、运输、配料、储存过程中产生的含尘废气，污染物种类为颗粒物；燃料系统无组织废气污染物种类包括颗粒物、烃类气体等。

(2) 辅料系统。有组织产污环节为辅料在装卸、运输、配料、储存过程中产生的含尘废气，污染物种类为颗粒物；辅料系统无组织废气污染物种类包括颗粒物、氨等。

(3) 除灰渣系统。有组织产污环节为灰渣在装卸、运输、储存过程中产生的含尘废气，污染物种类为颗粒物；除灰渣系统无组织废气污染物种类为颗粒物。

(4) 烟气系统。燃料燃烧过程中产生的烟气，污染物种类为颗粒物、二氧化硫、氮氧化物、汞及其化合物等。

6.5.1.2 废气核算因子

根据 GB 13271 指标体系，考虑到锅炉主要大气污染物的排放量、影响程度和减排重点方向，《指南》有组织废气污染源源强核算因子定为烟囱排放的颗粒物、 SO_2 、 NO_x 、汞及其化合物。锅炉多为使用单位的配套工程，实践表明通过事中事后监管加强约束措施和环境管理后其无组织排放是可控的，《指南》无组织废气污染源源强核算因子定为颗粒物（燃料为煤、生物质）、烃类

气体（燃料为油、气）、氨（液氨/氨水储存系统）。

6.5.2 核算方法确定

（1）核算公式来源

工业锅炉与火力发电锅炉的燃烧原理一致，主要排放口废气污染源源强（排放量）核算公式具有一定通用性，此外考虑工业锅炉设计、运行中燃料质量等参数不如火力发电锅炉管控详尽，《指南》尽量采用相关文献中简化公式。

a) 物料衡算法

燃煤、燃生物质锅炉颗粒物（烟尘）排放量核算公式（2）参考了《环境统计手册》《工业锅炉节能减排应用技术》^[3,13]，添加石灰石等脱硫剂时折算灰分式（3）参考了《实用锅炉手册（第二版）》《建材火电类环境影响评价》^[10,15]，与以往采用的核算公式基本一致；重油等液体燃料灰分一般很低，净化后的天然气等气体燃料一般不含尘，燃油、燃气锅炉的颗粒物排放量计算不适用物料衡算法，可采用排污系数法。

燃煤、燃生物质锅炉二氧化硫排放量核算公式（4）参考了《实用锅炉手册（第二版）》《环境统计手册》《工业锅炉及炉窑湿法烟气脱硫工程技术规范》^[10,13,16]，与以往采用的核算公式基本一致；此外，以往燃油、燃气锅炉二氧化硫排放量核算公式是在式（4）基础上对部分参数赋值后的简化形式，式（4）仍然适用于燃油、燃气锅炉。

燃煤、燃生物质锅炉氮氧化物排放量核算公式（5）参考了《建材火电类环境影响评价》^[15]，没有采用以往常用的《环境统计手册》核算公式：

$$M_{\text{NO}_x} = 1.63 \times B_g \times \left(1 - \frac{\eta_n}{100}\right) \times \left(\frac{\beta}{100} \times \frac{N_{ar}}{100} + V_g \times \rho_{\text{NO}} \times 10^{-6}\right)$$

式中： M_{NO_x} — NO_x 排放量，t/h；

B_g —锅炉燃料耗量，t/h；

η_n —脱硝效率，%；

β —燃烧时燃料型 NO 转变率，%；

N_{ar} —燃料中收到基氮，%；

V_g —标态干烟气量， m^3/kg ；

ρ_{NO} —燃烧时热力型 NO 质量浓度， mg/m^3 ，一般可取 $93.8\text{mg}/\text{m}^3$ 。

《环境统计手册》核算公式主要存在以下不足：①燃料型 NO 转变率取值范围大；②热力型 NO 质量浓度与炉膛温度在一定范围内呈指数关系，取定值与实际情况偏差大；③没有体现快速

型 NO_x 贡献；④燃气锅炉不适用。考虑到锅炉出口 NO_x 排放质量浓度已有较可靠的设计或实测数据可供类比，《指南》采用了《建材火电类环境影响评价》中更简便的核算公式（5），且其可适用于燃油、燃气锅炉。

燃煤、燃生物质锅炉汞及其化合物核算公式（6）参考了《建材火电类环境影响评价》《污染源源强核算技术指南 火电》^[15,17]，与以往采用的核算公式基本一致。

b) 实测法

实测法数据来自自动监测或手工监测，式（7）、式（8）参考了《环境统计手册》《工业锅炉节能减排应用技术》《火电行业主要污染物产排污系数》^[3,13,14]，与《污染源源强核算技术指南 火电》保持一致。

c) 排污系数法

式（9）参考了《实用锅炉手册（第二版）》《环境统计手册》^[10,13]，与以往采用的核算公式基本一致。

需要说明的是，近年锅炉配备的环保技术措施水平提升较快，实际运用时需注意与《全国污染源普查工业污染源产排污系数手册》对应情景的一致性。一致时，可直接采用手册中排污系数；污染防治设施明显不一致时，可采用手册中产污系数并通过污染防治设施设计或实际效率折算排污系数；生产工艺（燃烧装置）明显不一致或手册未涉及时，可类比国外同类工艺对应的产排污系数文件或咨询行业专业技术人员确定排污系数。

d) 烟气量计算公式

附录 C 相关计算公式参考了《实用锅炉手册（第二版）》《锅炉原理》《工业锅炉房设计手册（第二版）》^[10,11,18]，考虑到工业锅炉燃料元素分析等参数一般不全，还引用了《工业锅炉实用手册》《实用锅炉手册（第二版）》《环境统计手册》《工业锅炉房设计手册（第二版）》《环境保护计算手册》^[6,10,13,18,21] 中的烟气量经验计算公式。

需要说明的是，根据《实用锅炉手册（第二版）》《火力发电厂燃烧系统设计计算技术规程》等文献，流化床锅炉添加石灰石等脱硫剂分解产生 CO_2 增加的烟气量很小，参与反应导致的吸热、放热量也相对较小，计算时可忽略^[10,19]，如需精确计算可参考《火力发电厂燃烧系统设计计算技术规程》《循环流化床锅炉性能试验规程》^[19,20]。

（2）核算参数参考值来源

a) 机械不完全燃烧热损失（ q_4 ）

又称固体不完全燃烧热损失，是由飞灰、炉渣（及漏煤）中含有未燃尽的碳造成的^[4,6,10]， q_4 参考了《工业锅炉实用手册》《实用锅炉手册（第二版）》《建材火电类环境影响评价》《工业

锅炉房设计手册（第二版）》《环境保护计算手册》（表1）。

表1 锅炉机械不完全燃烧热损失的取值（%）

炉型	工业锅炉实用手册	实用锅炉手册（第二版）	环境保护计算手册	建材火电类环境影响评价	工业锅炉房设计手册（第二版）	《指南》
链条炉排炉	8~15	5~15	5~14	7~12	5~12	5~15
往复炉排炉	7~12	7~12	10~14	/	5~10	7~12
振动炉排炉	/	5~12	10~14	/	5~12	5~12
抛煤机炉排炉	8~15	8~15	6~14	8~15	6~13	8~15
流化床炉	5~27	5~27, 2 (生物质)	15~30	2~3.5	5~27	5~27, 2 (生物质)
煤粉炉	2~8	2~4	3~6	0.5~4	4~8	2~4
燃油炉	0	/	/	/	0	0
燃气炉	0	/	/	/	/	0

q_4 受燃烧方式、燃料性质、燃料细度等多种因素影响：层燃炉、沸腾炉（流化床炉） q_4 大，煤粉炉 q_4 小；燃料灰分和水分越多、挥发分越少、粒径越粗，则 q_4 越大^[6,10,11]。《指南》建议燃料挥发分高、灰分低时 q_4 可取低值，一般的取值大小排序为褐煤<烟煤<贫煤<无烟煤或煤矸石^[6,10,15,18]。以应用最广的燃煤链条炉排炉为例，采用式（4）核算二氧化硫排放量，假定其他参数不变，机械不完全燃烧热损失取高值（15%）时核算结果比取低值（5%）时低约 10%，核算结果不会产生数量级偏差，根据燃料性质缩小取值范围可以进一步提高核算精度。

b) 可燃物含量（含碳量）

《工业锅炉节能减排应用技术》《工业锅炉实用手册》《实用锅炉手册（第二版）》《工业锅炉房设计手册（第二版）》《环境保护计算手册》等文献给出的灰渣可燃物含量范围较宽（表2）^[3,6,10,18,21]，近年随着节能考核和技术进步，工业锅炉灰渣可燃物含量逐步下降。根据《燃煤工业锅炉节能监测》（GB/T 15317-2009），允许炉渣含碳量考核指标为蒸发量 15t/h 以下锅炉≤15%、15t/h 及以上锅炉≤12%、燃用无烟煤时可放宽至 20%，循环流化床飞灰可燃物含量考核指标为≤10%^[22]，杭州市 136 台燃煤、燃生物质锅炉实测结果表明，平均炉渣含碳量为 13.72%，大部分锅炉满足 GB/T 15317-2009 限值^[23]。《工业锅炉经济运行》（GB/T 17954-2007）按照蒸发量、燃料质量规定工业锅炉灰渣可燃物含量（限值范围为 11%~21%）^[24]，浙江省 999 个工业锅炉炉渣样品实测结果表明，炉渣含碳量低于 13% 有 501 个、13%~18% 的有 267 个、18%~25% 的有 137 个、高于 25% 有 94 个^[25]，大部分锅炉满足 GB/T 17954-2007 限值。因此，飞灰、炉渣可燃物含量除根据实测或锅炉生产商热平衡计算资料取值外，也可在 GB/T 15317、GB/T 17954 限值范围内选取。

表 2 工业锅炉灰渣可燃物（含碳量）的取值（%）

炉型	工业锅炉实用手册	实用锅炉手册（第二版）	环境保护计算手册	工业锅炉节能减排应用技术	工业锅炉房设计手册（第二版）
链条炉排炉	/	/	飞灰：15~45 炉渣：10~25	飞灰：15~25	/
往复炉排炉	/	/		飞灰：1~3	/
振动炉排炉	/	/		/	/
抛煤机炉排炉	/	/		飞灰：15~20	/
流化床炉	飞灰：8~40	飞灰：8~40		/	飞灰：8~40
煤粉炉	/	/	飞灰：4~8 炉渣：0~5	飞灰：4~8	/

需要注意的是，灰渣中可燃物含量对机械不完全燃烧热损失有影响^[26]，核算时应注意两者取值合理性。可燃物含量一般的取值大小排序为褐煤、烟煤<煤矸石<贫煤、无烟煤^[6,10,11]，以燃烧相对不充分的燃煤流化床锅炉为例，采用式（2）核算颗粒物（烟尘）排放量，假定其他参数不变，飞灰可燃物含量取高值（30%）时核算结果比取低值（8%）时高约 31%，核算结果不会产生数量级偏差，根据煤种特性缩小取值范围可以进一步提高核算精度。

c) 烟气带出的飞灰份额

烟气带出的飞灰份额参考了《工业锅炉实用手册》《实用锅炉手册（第二版）》《环境统计手册》《建材火电类环境影响评价》《工业锅炉房设计手册（第二版）》（表 3）^[6,10,13,15,18]。

表 3 工业锅炉烟气带出的飞灰份额的取值（%）

炉型	工业锅炉实用手册	实用锅炉手册（第二版）	环境统计手册	建材火电类环境影响评价	工业锅炉房设计手册（第二版）	《指南》
链条炉排炉	10~20	10~30	15~25	15~20	10~20	10~20
往复炉排炉	15~25	15~20	20	/	15~20	15~20
振动炉排炉	15~30	10~30	20~40	/	/	15~30
抛煤机炉排炉	25~40	20~30	25~40	/	20~30	20~30
流化床炉	40~60	25~60	40~50	40~60	40~60	40~60
	25~50 (煤矸石)	55~75 (生物质)			25~50 (煤矸石)	
煤粉炉	85~95	60~95	75~85	70~95	/	85~95
燃油炉	0	/	0	/	/	0
燃气炉	0	/	0	/	/	0

飞灰份额受燃烧方式、燃料特性等多种因素影响，其中燃烧方式影响最大，煤粉炉、流化床炉飞灰份额明显高于层燃炉；燃烧方式相同时，挥发分高的煤较易燃烧完全，锅炉带出的飞灰份额会相对增加，燃烧时熔化的灰分会在炉内结成炉渣且影响煤的气化和燃烧，随着灰分的增加飞灰份额呈减小趋势；此外根据《火力发电厂除灰设计规程》条文说明中相关案例，层燃炉燃用生

物质时飞灰份额 50%~60%，循环流化床炉燃用生物质时飞灰份额 $\geq 90\%$ ^[27]，结合《实用锅炉手册（第二版）》等文献，《指南》推荐燃用生物质时飞灰份额加 30%。

以适应性较广的燃煤流化床锅炉为例，采用式（2）核算颗粒物（烟尘）排放量，假定其他参数不变，飞灰份额取高值（60%）时核算结果比取低值（40%）时高约 50%，核算结果虽然不会产生数量级偏差，但应根据煤种特性缩小取值范围以提高核算精度。

d) 硫转化率

燃煤硫转化率参考了《工业锅炉及炉窑湿法烟气脱硫工程技术规范》^[16]，燃油（气）硫转化率参考了《实用锅炉手册（第二版）》《建材火电类环境影响评价》^[10,15]，其取值与相关实测结果基本吻合（层燃炉硫转化率均值 79.62%、 $n=87$ ^[28]；燃油炉硫转化率均值 96.3%、 $n=62$ ^[29]）。

生物质自身具有固硫特性（特别是采用循环流化床燃烧时）^[30]，当温度达到 500℃时全硫的 25%~35%析出到气相，当温度达到 1150℃时仍有 20%~50%的硫滞留在灰中^[31,32]，结合黑龙江省部分生物质锅炉监督性监测结果及专题研讨会专家意见，《指南》建议燃生物质炉硫转化率取 0.30~0.50。

e) Ca/S 摩尔比

当流化床锅炉添加石灰石等脱硫剂时，Ca/S 摩尔比取值参考了《工业锅炉实用手册》《实用锅炉手册（第二版）》^[6,10]。在鼓泡流化床锅炉中 Ca/S 摩尔比为 1.5~2.5 时脱硫效率可达 80%（但燃煤含硫量 3%时达到此效率 Ca/S 摩尔比可能需 5 以上），在循环流化床锅炉中 Ca/S 摩尔比为 1.5~2.5 时脱硫效率可达 90%及以上^[6,10]。部分环保设备厂商提出 Ca/S 摩尔比可取 1.5~3，考虑到 Ca/S 摩尔比 2 左右时即可达到较高脱硫效率，且过量石灰石不利于节能，《指南》仍推荐 Ca/S 摩尔比取 1.5~2.5。

采用式（3）换算折算灰分，假定其他参数不变，Ca/S 摩尔比取高值（2.5）时核算结果比取低值（1.5）时高约 10%，核算结果不会产生数量级偏差。炉内脱硫效率低、燃料硫分低时需要添加的脱硫剂相对较小，结合炉内脱硫效率等因素可缩小取值范围。

f) 燃料质量参数

煤由碳、氢、氧、氮、硫等 5 种元素成分和灰分、水分组成，各组成成分和发热量等参数可通过元素分析和工业分析来确定，资料获取来源一般为每批次入厂煤或每日入炉煤的煤质检测报告（制备和测定方法执行 GB/T 211、GB/T 212、GB/T 213、GB/T 214、GB/T 474、GB/T 476、GB/T 16659 等标准）。其中，以收到状态的煤为基准计算煤中全部成分的组合称为收到基（*ar*），以假想无水、无灰状态的煤为基准则称为干燥无灰基（*daf*）。

油、气等其他燃料，亦可通过供应商（或自行委托检测）获得各组成成分和发热量等参数信

息，资料来源于每批次油品分析报告或每日天然气气质分析报告。

(3) 污染防治可行技术

调研组通过调研等方式，初步给出了工业锅炉氮氧化物、颗粒物、二氧化硫、汞及其化合物污染防治技术及脱除效率范围。生态环境部目前正在组织编制《排污许可证申请与核发技术规范 锅炉》《锅炉污染防治可行技术指南》，待正式发布后，各污染防治可行技术从其规定。

a) 氮氧化物

优先通过燃烧控制以减少 NO_x 生成，即采用炉膛燃烧温度相对较低的炉型(如循环流化床炉)，或采取空气分级、燃料分级、水冷预混、烟气循环等低氮燃烧技术(一般可降低 NO_x 生成量10%~40%^[33])，其次采取脱硝措施降低 NO_x 排放。工业锅炉 NO_x 排放浓度范围见表4，烟气脱硝可行技术的一般性能见表5。

表4 工业锅炉 NO_x 排放浓度范围^[33]

炉型		排放质量浓度范围/(mg/m^3)
燃煤炉	层燃炉	100~600
	流化床炉	100~300
	煤粉炉	100~600
燃生物质炉		100~800
燃油炉		100~800
燃气炉		100~300

表5 烟气脱硝可行技术的一般性能^[10-12,33]

措施		NO_x 脱除效率/%
选择性催化还原法(SCR)		50~90
选择性非催化还原法(SNCR)	层燃炉	30~50
	流化床炉	60~80
	煤粉炉	30~40
SNCR+SCR 联合法		55~85
注：采取优化烟气流场、增加催化剂装载量(提高单层尺寸或层数)等措施可适当提高脱硝效率。		

b) 颗粒物

表6 烟气除尘可行技术的一般性能^[6,10-12]

措施		颗粒物脱除效率/%
干式	静电除尘器	≥ 99
	袋式除尘器	≥ 99.5
	电袋除尘器	≥ 99.5
	多管旋风除尘器	80~94
湿式	水膜除尘器	85~95
	湿式电除尘器	70~90
注：采用湿法脱硫时，可协同脱除50~70%的颗粒物，一般情况取50%，如取高效率应提供相应证明材料。		

c) 二氧化硫

表 7 烟气脱硫可行技术的一般性能^[6,10-12,16]

措施		SO ₂ 脱除效率/%
湿法	石灰石-石膏法	~95
	氧化镁法	~95
	钠碱（双碱）法	~95
	氨法	~95
干法/半干法	循环流化床法	70~90
	炉内喷钙法	50~90

d) 汞及其化合物

工业锅炉烟气 SCR 脱硝、除尘和湿法脱硫等环保设施对汞及其化合物具有协同脱除效果，平均脱除效率一般可达 70%。工业锅炉烟气脱汞可行技术的一般性能见表 8。

表 8 烟气脱汞可行技术的一般性能^[12,34-36]

协同措施			汞协同脱除效率/%
脱硝	除尘	脱硫	
/	静电除尘器	/	10~30
/	袋式/电袋除尘器	/	20~40
/	静电/袋式/电袋除尘器	湿法脱硫	35~90
/	静电/袋式/电袋除尘器	循环流化床	35~90
选择性催化还原法（SCR）	静电/袋式/电袋除尘器	湿法脱硫	40~95

注：添加卤化物、活性炭吸附剂等单项脱汞技术，烟气汞脱除效率可提高至 90% 以上。

(4) 校验数据来源

a) 2017 年 9 月 8 日、11 月 8 日，环境保护部环境工程评估中心在北京组织了两次工业锅炉环保工作研讨会，参会代表来自工业锅炉制造厂商、环保设备公司、大专院校、科研院所、环境监察机构等，与会代表着重讨论了源强相关核算公式、机械不完全燃烧损失等参数推荐值、污染防治可行技术。

b) 2017 年 9 月，环境保护部环境工程评估中心、国电环境保护研究院有限公司、北京市劳动保护科学研究所、天津市环境保护科学研究院实地调研了江苏省常州市 8 家使用锅炉企业，获得了 19 台锅炉（燃煤 18 台、燃生物质 1 台）详细的原辅料和污染物排放数据，部分锅炉取得了至少连续 3 个月大气污染物排放自动监测数据。

c) 北京市劳动保护科学研究所、天津市环境保护科学研究院通过《典型锅炉主要污染防治技术措施测试专题报告》《锅炉污染防治技术措施有效性评估》等技术报告取得燃煤、燃气、燃生物质锅炉样本近 500 台。其中，常州市调研时北京市劳动保护科学研究所对 6 台燃煤锅炉开展

了同步手工监测（表 9）。

表 9 工业锅炉调研同步实测样本情况

燃料	炉型	脱硝	除尘	脱硫	台数
燃煤	循环流化床	SNCR	静电+湿电	炉内喷钙+双碱法	2
	层燃炉	SNCR	袋式	双碱法	2
	层燃炉	SCR	袋式	其他（印染废水）	1
	层燃炉	SNCR	袋式	石灰石-石膏法	1

d) 《指南》编制过程中，课题组查阅了 22 个锅炉项目的环境影响评价文件，这些项目多以排污系数法核算源强。

表 10 环境影响评价文件源强核算方法

类型	数量	核算方法	数量
燃煤（生物质）	13	实测（或类比）法	2
燃油	/	物料衡算法	7
燃气	9	排污系数法	17

注：有 3 个项目同时使用了排污系数法和物料衡算法，有 1 个项目同时使用了排污系数法和实测（或类比）法。

6.5.3 模式验证

(1) 新建项目案例分析

某纺织厂拟建 3×35t/h 循环流化床锅炉(2 用 1 备),燃煤收到基碳含量 60.33%、氢含量 3.62%、氧含量 9.94%、氮含量 0.7%、硫分 0.41%、灰分 13.0%、水分 12.0%，干燥无灰基挥发分 36.44%，低位发热量 22600kJ/kg，耗煤量 8.31t/h。炉内掺烧石灰石（纯度 90%，Ca/S 摩尔比 1.5）、脱硫效率 50%，炉后采用钠碱法脱硫、脱硫效率 80%，综合脱硫效率 90%；采用静电除尘器、除尘效率 99.6%，脱硫系统后设置高效管束除尘除雾器、除尘效率 50%，综合除尘效率 99.8%。年利用小时按 8400h 计，估算该项目颗粒物、SO₂ 排放量。

a) 物料衡算法

采用 35t/h 循环流化床燃煤锅炉， d_{fh} 取 50%， K 取 0.8，燃料干燥无灰基挥发分 36.44%， q_4 取 5%，根据 GB/T 17954-2007、GB/T 15317-2009， C_{fh} 取 10%。

掺烧石灰石脱硫，灰分按照式（3）折算：

$$A_{zs} = 13.0 + 3.125 \times 0.41 \times [1.5 \times (100/90 - 0.44) + 0.8 \times 50/100] = 14.8\%$$

颗粒物排放量按式（2）计算：

$$M_{PM} = [8.31 \times (14.8/100) \times (50/100) \times (1 - 99.8/100) / (1 - 10/100)] \times 8400 = 11.48 \text{ (t/a)}$$

SO₂ 排放量按式（4）计算：

$$M_{SO_2} = [2 \times 0.8 \times 8.31 \times (1 - 5/100) \times (1 - 90/100) \times (0.41/100)] \times 8400 = 43.50 \text{ (t/a)}$$

使用元素分析资料计算烟气量，则该项目颗粒物、SO₂ 排放质量浓度分别低于 30mg/m³、200mg/m³，符合 GB 13271-2014 特别排放限值。

$$V_0 = 0.0889 \times (60.33 + 0.375 \times 0.41) + 0.265 \times 3.62 - 0.0333 \times 9.94 = 6.00 \text{ (m}^3/\text{kg)}$$

$$V_{\text{RO}_2} = 1.866 \times (60.33 + 0.375 \times 0.41) / 100 = 1.13 \text{ (m}^3/\text{kg)}$$

$$V_{\text{N}_2} = 0.79 \times 6.00 + 0.8 \times 0.7 / 100 = 4.75 \text{ (m}^3/\text{kg)}$$

$$V_g = 1.13 + 4.75 + (1.75 - 1) \times 6.00 = 10.38 \text{ (m}^3/\text{kg)}$$

$$\rho_{\text{PM}} = (11.48 \times 1000 \times 1000 \times 1000) / [10.38 \times (8.31 \times 1000) \times 8400] = 15.84 \text{ (mg/m}^3)$$

$$\rho_{\text{SO}_2} = (43.50 \times 1000 \times 1000 \times 1000) / [10.38 \times (8.31 \times 1000) \times 8400] = 60.04 \text{ (mg/m}^3)$$

b) 排污系数法

根据《全国污染源普查工业污染源产排污系数手册》，采用静电除尘，烟尘（颗粒物）排污系数取 0.16A，炉内添加脱硫剂、采用湿式除尘脱硫，二氧化硫排污系数取 1.35S。

颗粒物、SO₂ 排放量按式（9）计算。

$$M_{\text{PM}} = 8.31 \times 0.16 \times 13 / 1000 \times 8400 = 145.19 \text{ (t/a)}$$

$$M_{\text{SO}_2} = 8.31 \times 1.35 \times 0.41 / 1000 \times 8400 = 38.64 \text{ (t/a)}$$

排污系数来自现有同类污染源普查，当新建锅炉污染治理设施性能较普查时大幅提高，排污系数法计算结果可能会产生较大偏差，需要及时更新（修正）排污系数，或采用产污系数结合新的治理效率推导排污系数。例如，本案例静电除尘器效率有所提升（手册中静电除尘器效率 96%~98%，除尘效率 99.6%时排放量为除尘效率 98%时的 20%），且脱硫塔内增设管束除尘除雾器（除尘效率 50%），如根据除尘效率提升幅度假定两级除尘的修正因子分别为 0.20、0.50，则颗粒物核算结果可修正为 145.19×0.20×0.50≈14.52（t/a），如直接采用产污系数 5.19A、除尘效率 99.8%推导，则颗粒物核算结果为 8.31×5.19×13/1000×（1-99.8%）×8400= 9.42（t/a），两种处理方法得到的计算结果与物料衡算法计算结果（11.48t/a）的偏差幅度大幅降低。

（2）现有项目案例分析

某企业有 1×50t/h 循环流化床锅炉和 1×35t/h 链条炉（备用），2016 年 10 月 1 日至 2016 年 12 月 31 日燃料收到基低位发热量平均 20.60MJ/kg，在线监测系统装置在烟囱上，小时监测结果（表 11）表明，NO_x 排放质量浓度 0~244.67mg/m³、加权平均 91.3mg/m³，烟气量 0~267887.1m³/h、平均 171874.7m³/h，设备利用小时数 2205h，估算该工程 NO_x 排放量。

表 11 某企业烟囱部分污染物在线监测结果

工况	NO _x / (mg/m ³)	烟气量/ (m ³ /h)	备注
非正常	238.969	239343.281	节假日热负荷波动，锅炉燃烧不稳定

工况	NO _x / (mg/m ³)	烟气量/ (m ³ /h)	备注
	202.701	254293.344	
	203.561	241596.313	
	207.942	223162.266	
	203.514	157413.563	标定及维修
	124.852	152560.141	
	222.064	148994.016	
	216.114	146400.609	
	226.404	158944.125	
	193.966	155432.734	脱硝剂管道故障
	244.677	151791.125	
	205.522	157209.594	
	76.625	141071.094	
75.391	140841.672		
71.512	142431.625		
71.673	134301.906		
54.239	150044.484		
62.454	151456.781		
62.742	153629.813		
59.952	161615.094		
45.805	166514.297		
41.025	165161.906		
56.254	164464.125		
80.441	155020.094		

a) 实测法

2016 年 10 月 01 日~12 月 31 日的 NO_x 实际排放量按式 (7) 计算。

$$M_{NO_x} = (151.733 \times 221428.063 + 112.235 \times 214195.203 + \dots) \times 10^{-9}$$

$$= 35.59 \text{ (t/92d)}$$

$$\approx 194.46 \text{ (t/a)} \text{ (按达标排放浓度 } 200\text{mg/m}^3 \text{、全年利用小时数 } 5500\text{h 折算)}$$

从调研情况分析，工业锅炉出现启停、压火等非正常工况频次较多、持续时间较长，且不同类型工业锅炉启停所需时间差异较大，如载热工质为矿物油时（导热油炉），为确保安全，其启动、停炉时间分别可达 24h、12h 以上。该企业执行 GB 13271-2014 特别排放限值 (NO_x200mg/m³)，锅炉年利用小时数取 5500h，则达标排放情况下的允许排放量约 194.46t/a。通过运行阶段控制排放浓度低于排放限值一定幅度（如本案例），可以对冲短期的工况波动造成的高浓度排放量，长期的实际排放量一般能低于允许排放量。

b) 物料衡算法校验

该企业 2016 年台账统计资料表明，燃煤量 49300t，燃煤干燥无灰基挥发分 25.6%，设备利用小时数 5500h，锅炉 NO_x 产生质量浓度 345mg/m³，SNCR 脱硝效率 40%，NO_x 排放量按式（5）计算，干烟气排放量按式（C.6）、烟气湿度 5% 近似计算。

$$\begin{aligned}
 M_{\text{NO}_x} &= 345 \times \{ 49300 \times 1000 \times [0.248 \times 20600 / 1000 + 0.77 + 1.0161 \times (1.75 - 1) \times \\
 &\quad (0.251 \times 20600 / 1000 + 0.278)] \times (1 - 5\%) \} \times (1 - 40 / 100) \times 10^{-9} \\
 &= 97.25 \text{ (t/a)} \\
 &\approx 38.99 \text{ (t/92d, 根据核算期与全年设备利用小时数比例折算)}
 \end{aligned}$$

若采用《环境统计手册》中相关公式计算，燃烧时燃料型 NO 转变率 β 取 35%（取值范围一般为 25~50%），燃煤中收到基氮 N_{ar} 取平均值 1.5%（取值范围一般为 0.5~2.5），则：

$$\begin{aligned}
 M_{\text{NO}_x} &= 1.63 \times 49300 \times (1 - 40 / 100) \times \{ (35 / 100) \times (1.5 / 100) + [0.248 \times 20600 / 1000 + 0.77 + 1.0161 \times \\
 &\quad (1.75 - 1) \times (0.251 \times 20600 / 1000 + 0.278)] \times (1 - 5\%) \} \times 93.8 \times 10^{-6} \\
 &= 223.91 \text{ (t/a)} \\
 &\approx 89.77 \text{ (t/92d, 根据核算期与全年设备利用小时数比例折算)}
 \end{aligned}$$

比照 CEMS 统计资料，《指南》推荐的式（5）核算结果偏大约 9.5%，《环境统计手册》中相关公式核算结果偏大约 252%（该公式中 β 、 N_{ar} 范围较宽，对计算结果的波动影响可超过 6 倍，以最有利参数取值计算，核算结果仍偏大约 16%），《指南》建议的式（5）较简便且合理。

c) 排污系数法校验

根据《全国污染源普查工业污染源产排污系数手册》，工业锅炉（循环流化床、烟煤、直排）NO_x 产排污系数为 2.7（kg/t），据此按式（9）计算 NO_x 产生量。

$$\begin{aligned}
 N_{\text{hz}} &= 49300 \times 2.7 / 1000 \\
 &= 133.11 \text{ (t/a)} \\
 &\approx 53.37 \text{ (t/92d, 根据核算期与全年设备利用小时数比例折算)}
 \end{aligned}$$

考虑 SNCR 平均 40% 脱硝效率，则核算期 NO_x 排放量约 32.02 t，比照台账统计资料，排污系数法核算结果偏小约 10%。排污系数为全国同类锅炉统计中值，具体到每个锅炉均存在一定程度离散，排污系数法核算结果对于个例而言偏差幅度可以接受。

6.5.4 核算方法优先原则

（1）GB 13271-2014 要求 20 t/h 及以上蒸汽锅炉和 14MW 及以上热水锅炉应安装污染物排放自动监控设备并与环保部门的监控中心联网，并保证设备正常运行。CEMS 的技术性能、安装位置、技术验收、日常运行、质量保证、有效性审核和考核等要求在 HJ 75、HJ 76 等文件中有详细规定。

调研发现，多数锅炉使用企业仍采用手工监测（监督性监测或自行监测），少数采用在线监测，但是总体上实测法应用符合有效性规定的监测数据已具备实施条件，在符合计量认证前提下可作为现有企业首选的污染物核算手段。

（2）在新改扩建项目环评阶段，某些基础数据具有不确定性，或基于环境质量对源强有更严格控制要求时，此时采用物料衡算法可进行较准确的污染物排放量定量预测。

（3）近5年来，随着节能和减排考核要求日益趋严，锅炉使用企业环保设备技术水平提升较快，现阶段应用排污系数法时需注意污染防治设施与排污系数对应情景的一致性，下一步可应用第二次污染源普查更新数据。

综上所述，结合模式验算结果，建议废气有组织源强核算时现有企业优先采用实测法，新建项目优先采用物料衡算法（表12）。此外，废气无组织源强与锅炉使用企业的污染防治措施、环境管理水平直接相关，且现阶段其理论预测存在困难，建议核算时采用实测法或类比法。

表 12 废气源强核算方法选取原则

要素	污染源	污染物	核算方法及选取优先次序	
			新（改、扩）建工程污染源	现有工程污染源
有组织废气（正常工况）	烟囱	颗粒物、二氧化硫、氮氧化物、汞及其化合物	1.物料衡算法 2.排污系数法	1.实测法 2.物料衡算法 3.排污系数法
有组织废气（非正常工况）	烟囱	颗粒物、二氧化硫、氮氧化物、汞及其化合物	1.类比法	1.实测法 2.类比法
无组织废气	煤场/油（气）罐、灰渣场等原辅料和副产物储存、卸载、运输、制备系统	燃料为煤、生物质：颗粒物 燃料为油、气：烃类气体	1.类比法	1.实测法 2.类比法

6.6 废水污染源源强核算

6.6.1 污染源及核算因子

6.6.1.1 废水污染源种类

燃煤锅炉运行中产生的废水通常有锅炉排污水、补给水处理系统工艺废水、脱硫废水、含煤废水及生活污水。在设备检修等非正常工况时，还会产生锅炉清洗废水、锅炉烟气侧设备冲洗排水等非经常性排水。燃气（油）锅炉运行中产生的废水较为简单，通常为锅炉排污水、补给水处理系统工艺废水。

根据现行环保管理要求和行业技术发展水平，目前，锅炉使用单位对锅炉产生的废水部分回用至脱硫、除灰渣系统，也有将废水排放至依托的主体工程废水处理站，或排放至外部环境。

(1) 锅炉排污水

蒸汽锅炉运行时由于锅水不断蒸发浓缩，会产生受热面结垢结渣等问题，因此需严格控制水质，及时把锅炉与下集箱等处的浓盐水和污垢排出炉外，即为锅炉排污水，其主要污染因子为热、SS，降温处理后回用于脱硫。

(2) 锅炉补给水处理系统工艺废水

我国工业锅炉普遍应用钠离子交换法进行锅炉补给水处理，即用 Na^+ 将水中的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 交换析出，从而降低水的硬度，但并不能去除水的碱度（ Na^+ 会浓水生成苛性碱）与盐，锅炉运行中必须经常排污。交换剂用食盐溶液再生，又会产生 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 浓水（一般视为清净下水），常随锅炉排污水排放或回用于脱硫。

H^+ - Na^+ 交换法也有一定应用，其联用可使软化水酸碱中和从而降低碱度，减少锅炉排污，但其再生会产生酸碱废水，一般采用 pH 调节中和处理后回用于脱硫。

反渗透法近年来应用较快，相比钠离子交换法其也能降低锅炉排污，但也会排出 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 浓水（一般视为清净下水），常回用于脱硫。

(3) 脱硫废水

近年来随着环保要求的不断提高，越来越多的锅炉烟气脱硫采用石灰石-石膏等湿法脱硫工艺，在提高脱硫效率的同时，也带来了脱硫废水的问题。

湿法脱硫废水水质比较特殊、处理难度较大，火电厂一般单设脱硫废水处理站进行处理，工业锅炉一般仅进行简单的中和、沉淀等处理。脱硫废水一般用于除渣等，也有无法利用时向外排放。脱硫废水的主要污染因子包括 COD、SS、重金属等，对于 Cl^- 、 SO_4^{2-} 等脱硫废水富集的溶解性固体物（全盐量），虽然《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）未将其列入污染物指标，但环保管理要求日益严格，故《指南》也作为污染因子予以考虑。

(4) 含煤废水

大型工业锅炉可能会设置煤场及相关输送设施，会产生包含输煤栈桥冲洗排水、转运站冲洗排水、碎煤机室冲洗排水、煤仓间冲洗排水、煤场初期雨水等含煤废水，一般经过沉淀、过滤等处理。出水循环回用于煤场喷洒、输煤皮带冲洗。含煤废水的主要污染因子 pH、SS。

(5) 生活污水

工业锅炉生活污水主要来自生产人员的卫生间洗浴排水、食堂排水等，可生化性较好，少量工业锅炉房独立设置二级生化处理装置处理后回用；大部分锅炉依托主体工程设置的生活污水处理车间统一处置，或排入厂区附近市政管网后进入城镇生活污水处理厂处理。

6.6.1.2 废水核算因子

《指南》核算对象仅为锅炉及相关工艺设备（原煤处理、尾部烟气治理）、人员排放的生产废水、生活污水及其污染物排放量。

按照与《排污单位自行监测技术指南 火力发电及锅炉》（HJ 820-2017）相协调统一的原则，《指南》确定废水总排口污染源源强核算因子为化学需氧量（COD）、氨氮、悬浮物、石油类、氟化物、硫化物、挥发酚、溶解性总固体（全盐量）、总磷等。若锅炉采用湿法脱硫有脱硫废水排放的企业，鉴于脱硫排水水质的特殊性，应在处理设施出口对铅、汞、镉、砷等重金属污染物也进行核算。

6.6.2 核算方法确定

目前，根据《环境统计技术规范污染源统计》（HJ 772-2015）、《国控污染源排放口污染物排放量计算方法》（环办〔2011〕8号）及部分省市排污许可实践来看，我国环保系统水污染物排放量核算方法主要分为3类，分别为实测法、排污系数法和类比法，上述方法均是基于对现有运行企业排放废水中的水污染物排放量进行核算。建设项目环评阶段源强核算一般采用相似项目类比法或设计资料予以计算。

（1）实测法

该方法是依据实测的排放废水量及其中各项污染物浓度，计算出水污染物产生或排放量，计算方法简单易懂，适用于运行企业，采用设计资料计算建设项目水污染物排放量也是基于该方法原理。

（2）排污系数法

该方法工作基础为《全国污染源普查工业污染源产排污系数手册》，首先依据锅炉类型、规模、工艺、水处理方式等查找相应的单位原料消耗等系数，然后根据原煤消耗量计算排放的废水量、水污染物排放量。该方法适用于排放浓度、废水排放量均无数据情况下进行估算，也可以对浓度法核算结果进行校核，

a) 排污系数反映的第一次全国污染源普查时的废水排放平均水平，实际上随着近年来环保管理标准、要求的提升以及节水和废水处理技术的应用，该排污系数现阶段是否准确有待商榷，在第二次污染源普查完成前可暂时使用。

b) 对于末端治理技术基本相同的锅炉采用一个排污系数，不考虑地理位置、脱硫方式、除灰方式等差异，该排污系数与锅炉工艺特性结合度不够，可能导致与实际值误差较大。

c) 第一次污染源普查手册中仅有COD排放系数，没有考虑新形势下对排放废水中其他污染因子的要求。

（3）类比法

类比法是用于与拟建项目类型相同的现有项目的实测资料进行工程分析的一种常用方法。采用类比法时，为提高类比数据的准确性，应充分注意分析对象与类比对象之间的相似性和可比性，类比法适用原则为：类比对象的原料（燃料）/辅料/副产物类型相同（原则上成分差异不超过 20%），生产工艺相同，规模等级相同（原则上规模差异不超过 30%），污染治理工艺相同（原则上治理效率不高于核算对象设计效率）。应类比符合适用原则的现有工程污染源实测数据进行核算。

建设项目环评实践中，新（改扩）建锅炉污染源源强相关参数一般根据企业自身符合规范要求的设计文本和可行性研究报告进行确定的情况更多，其在《指南》中也归类为类比法。

6.7 噪声污染源强核算

6.7.1 污染源及核算因子

6.7.1.1 噪声污染源种类

锅炉相关工艺高噪声设备较多，按噪声产生原因主要分为以下类型：

（1）空气动力性噪声

空气动力性噪声是由空气周期性的旋转和产生涡流形成的。当风机叶轮在一定压力下运转时，周期性地挤压空气，撞击气体分子，导致叶轮周围气体产生速度和压力脉动，并以声波形式辐射，这就形成了旋转噪声。叶轮在高速运转的同时，在其表面形成大量的气体涡流，当这些气体涡流在叶轮界面上分离时，就产生了涡流噪声。

锅炉鼓风机、引风机、流化风机、空压机、脱硫氧化风机、脱硫增压风机等设备均易产生空气动力性噪声。对于燃气（油）锅炉，其燃烧器噪声较高，锅炉本体也属于高噪声设备。

（2）机械性噪声

机械性噪声较为普遍，设备在运行过程中，部件互相撞击、摩擦产生的交变机械力易引起设备振动，从而形成噪声。机械性噪声属于固体噪声，频率较低，在以钢筋混凝土为主的刚性结构中随传播距离的衰减很小。

厂内设置制粉设备的煤粉锅炉，其磨煤机、碎煤机等设备均易产生机械性噪声。

（3）流体噪声

流体快速撞击管壁与管壁发生强烈的摩擦，产生的较高频率的噪声，主要产生在锅炉给水泵、脱硫浆液循环泵。

6.7.1.2 噪声核算因子

根据行业实际情况，《指南》通过收集并整理了部分锅炉建设项目环评报告的声源数据，噪声治理过程中的监测数据，设备技术协议对声源限定数据，经咨询行业专家意见，给出锅炉相关

噪声设备的 A 声级及常见噪声治理措施及其效果的参考性附录 D。

6.7.2 核算方法

对于新（改、扩）建噪声污染源，《指南》推荐采用类比法获取锅炉工艺相关高噪声设备源强。

对于运行企业、商业经营场所的设备噪声源强核算，《指南》推荐噪声源强优先采用实测法核算，其次采用类比法核算。

类比法是指设备商提供的源强数据。类比对象的优先顺序为技术协议源强参数、同型号设备、同类设备。设备型号未定时，应根据同类设备噪声水平按保守原则确定噪声源强，或参考附录 D。

6.7.3 噪声源强

根据行业实际情况，《指南》通过系统地收集并综合整理锅炉运行企业环评报告的声源数据、调研数据、行业技术政策给出的声源参数等，并咨询行业专家意见，给出锅炉噪声设备的 A 声级及常见噪声治理措施及其效果的参考性附录 D。

由于统计样本、实践经验的局限，技术进步等各方面的因素，不排除突破参考性附录范围的可能性。

表 13 锅炉相关设备噪声源声压级及常见降噪措施一览表

序号	主要声源设备	声频特性	监测位置	声压级/ (dB(A))	常见隔声措施
1	碎煤机	中低频	设备外 1m	85~95	隔声罩壳、厂房隔声
2	磨煤机	中低频	设备外 1m	85~100	厂房隔声
3	锅炉给水泵	宽频分布	设备外 1m	70~90	隔声罩壳、厂房隔声
4	燃气(油)锅炉	宽频分布	结构外 1m	70~90	隔声封闭
5	鼓风机	中低频	吸风口外 3 m	75~90	进风口消声器 管道外壳阻尼
6	流化风机	中低频	罩壳外 1m	75~90	进风口消声器 管道外壳阻尼
7	引风机	中低频	罩壳外 1m	75~90	隔声罩壳、管道外壳 阻尼、隔声小间
8	空压机	中低频	吸风口外 1 m	75~90	厂房隔声 进风口消声器
9	氧化风机	中低频	吸风口外 1 m	75~90	进风口消声器 隔声小间
10	增压风机	中低频	罩壳外 1 m	75~90	进风口消声器 隔声小间
11	浆液循环泵	中低频	设备外 1m	75~90	厂房隔声 隔声罩壳 隔声小间
12	锅炉排汽口	中高频	排汽口外 2m	100~120	消声器

注：本表罩壳为设备自带罩壳，罩壳外声压级已考虑自带罩壳隔声效果。

6.8 固体废物污染源强核算

6.8.1 污染源及核算因子

6.8.1.1 固体废物污染源种类

(1) 主要固体废物类型

工业锅炉产生的固体废物主要有燃煤灰渣(或固硫灰渣)、脱硫副产物(如石膏)、废脱硝催化剂(钒钛系)等,我国 80%以上的工业锅炉燃煤,因此大宗的固体废物为燃煤灰渣。此外,随着锅炉达标行动的推进,石灰石-石膏湿法脱硫应用日益广泛,预计脱硫石膏产生量增幅较大。

(2) 主要固体废物产生和处置情况

灰渣综合利用是指采用成熟工艺技术对粉煤灰进行加工,用于生产水泥、砖、建筑砌块、混凝土掺料、道路路基处理、矿井回填材料、土壤改良、微生物复合肥等。

脱硫石膏：水泥缓凝剂或制作石膏板，生产石膏粉刷材料、石膏砌块。

半干法脱硫灰渣综合利用，半干法脱硫（包括烟气循环流化床脱硫）灰渣主要成分为 CaSO_4 、 CaSO_3 等，强碱性和自硬性，主要筑路和制砖。

循环流化床锅炉炉内脱硫灰渣，与煤粉炉产生的粉煤灰相比，具有烧失量较高、 CaO 含量高、 SO_3 质量浓度高、玻璃体较少、具有一定的自硬性等特点，可综合利用于废弃矿井、采空区回填和筑路等。

废脱硝催化剂属于危险废物，可采取再生处理、安全填埋等方式处置。

6.8.1.2 固体废物核算因子

考虑到主要固体废物的产生量和处置情况，结合相关清洁生产控制体系要求，《指南》固体废物污染源源强核算因子定为锅炉企业产生的大宗固体废物，即灰渣、脱硫副产物。

对于废脱硝催化剂（钒钛系）等危险废物源强和处置去向，按照《危险废物产生单位管理计划制定指南》（环境保护部公告 2016 年第 7 号）等文件要求，通过台账登记制度予以统计。

6.8.2 核算公式

（1）物料衡算法

燃煤、燃生物质锅炉灰渣产生量核算公式（11）参考了《工业锅炉房设计手册（第二版）》《火力发电厂除灰设计规程》^[18,27]；当需要分别核算飞灰、炉渣时，可参考附录 B 烟气带出的飞灰份额取值予以区分。

在《环境统计手册》《环境保护计算手册》中，灰渣源强核算公式分别为：

$$N_{hz} = \frac{B_g \times A_{ar} \times d_{lz}}{1 - C_{lz}} + \frac{B_g \times A_{ar} \times d_{fh} \times \eta_c}{1 - C_{fh}}$$

式中： N_{hz} —灰渣产生量，t/h；

B_g —锅炉燃料耗量，t/h；

A_{ar} —收到基灰分；

d_{lz} —炉渣中灰分份额；

d_{fh} —锅炉烟气带出的飞灰份额；

η_c —除尘效率；

C_{lz} —炉渣中的可燃物含量；

C_{fh} —飞灰中的可燃物含量。

$$N_{hz} = B_g \times \left[A_{ar} + (1 - A_{ar}) \frac{q_4 \times Q_{net,ar}}{32784.2} \right] - \frac{B_g \times A_{ar} \times d_{fh} \times (1 - \eta_c)}{1 - C_{fh}}$$

式中： N_{hz} —灰渣产生量，t/h；

B_g —锅炉燃料耗量，t/h；

A_{ar} —收到基灰分；

q_4 —锅炉机械不完全燃烧热损失，%；

$Q_{net,ar}$ —收到基低位发热量，kJ/kg；

d_{fh} —锅炉烟气带出的飞灰份额；

η_c —除尘效率；

C_{fh} —飞灰中的可燃物含量。

上述公式计算所需参数相对较多，特别是 q_4 与飞灰可燃物含量存在关联性，取值是需要校对合理性，因此在计算精度相当的前提下（详见 6.5.3 模式验证），《指南》式（11）采用了《工业锅炉房设计手册（第二版）》《火力发电厂除灰设计规程》中更简便的核算公式。

工业锅炉配套的石灰石-石膏湿法等脱硫工艺与火力发电锅炉相关设施基本一致，脱硫副产物产生量核算公式（12）参考了《污染源源强核算技术指南 火电》《火力发电厂除灰设计规程》^[17,27]，式（13）参考了《环境统计手册》《工业锅炉及炉窑湿法烟气脱硫工程技术规范》《污染源源强核算技术指南 火电》^[13,16,17]。

（2）实测法

根据《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》《危险废物产生单位管理计划制定指南》（环境保护部公告 2016 年第 7 号）等法律法规要求，产生工业固体废物的单位应建立与生产记录相衔接的台账登记制度，此要求为《指南》实测法创造了实施条件。

（3）排污系数法和附录 B 参数参考值说明同废气部分。

6.8.3 模式验证

某企业现有 1 台 50t/h 循环流化床炉，2016 年燃料收到基灰分 15%、硫分 0.5%、低位发热量 20.6MJ/kg，干燥无灰基挥发分 26%，耗煤量 49300t，运行时间 6280h。烟气处理采用电袋除尘、双碱法脱硫，除尘效率 99.8%、脱硫效率 86%，估算该企业灰渣产生量。

（1）物料衡算法

使用 50t/h 循环流化床锅炉，燃料收到基低位发热量 20.6MJ/kg、干燥无灰基挥发分 26%， q_4 取低值 5%，灰渣产生量按式（11）计算。

$$N_{hz} = 49300 \times [15/100 + (5/100) \times (20600/33870)] \\ \approx 8894 \text{ (t/a)}$$

炉渣、飞灰含碳量按照 GB/T 15317-2009 限值分别取 12%、10%，飞灰份额取 50%，采用《环境统计手册》《环境保护计算手册》中相关公式计算：

$$N_{hz} = 49300 \times 15\% \times 50\% / (1 - 12\%) + 49300 \times 15\% \times 50\% \times 99.8\% / (1 - 10\%) \\ \approx 8302 \text{ (t/a)}$$

或

$$N_{hz} = 49300 \times [15\% + (1 - 15\%) \times 5\% \times (20600/32784.2)] - 49300 \times 15\% \times 50\% \times (1 - 99.8\%) \\ / (1 - 10\%) \\ \approx 8703 \text{ (t/a)}$$

(2) 实测法

该企业 2016 年台账统计资料表明，灰渣产生量 8741t（其中粉煤灰、炉渣产生量分别为 4338t、4403t，实际飞灰份额 49.6%），灰渣全部综合利用。

比照台账统计资料，物料衡算法核算结果基本符合实际情况。《指南》推荐的式（11）核算结果偏大约 1.7%，《环境统计手册》《环境保护计算手册》中相关公式核算结果分别偏小约 5.0%、0.4%，这是因为《指南》推荐的式（11）没有剔除烟气带走的少量飞灰，《环境统计手册》《环境保护计算手册》中相关公式炉渣、飞灰含碳量取值较实际情况偏小。《环境统计手册》《环境保护计算手册》中相关公式与《指南》式（11）计算精度相当，式（11）相对简便而予以推荐。

(3) 排污系数法

根据《全国污染源普查工业污染源产排污系数手册》，工业锅炉（燃煤循环流化床）粉煤灰、炉渣产排污系数分别为 4.73A（kg/t）、5.25A（kg/t），据此按式（9）计算灰渣产生量。

$$N_{hz} = 49300 \times [(4.73 \times 15 + 5.25 \times 15) / 1000] \\ \approx 7380 \text{ (t/a)}$$

比照台账统计资料，排污系数法核算结果偏小约 15%。排污系数为全国同类锅炉统计中值，具体到每个锅炉均存在一定程度离散，排污系数法核算结果对于个例而言偏差幅度可以接受。

6.8.4 核算方法优先原则

工业锅炉类型多、实际运行情况复杂，实测的台账记录能准确地反映现有企业固体废物的产生量、处置量、处置去向等内容，且在日常运营中已形成相关制度，不需额外增加企业负担，建议实测法作为现有企业首选的固体废物核算方法。

对于新建项目，一般均设想有限组合的燃料质量、环保设施性能，采用物料衡算法可以便捷地估算常规固体废物产生量，建议物料衡算法作为环评阶段首选的固体废物核算方法。

6.9 管理要求

本节针对锅炉运行企业污染源源强核算方法等补充了相关要求。

(1) 核算方法要求

源强核算过程中，工作程序、源强识别、核算方法及参数选取应符合要求。

(2) 其他核算方法

如存在其他有效的源强核算方法，也可以用于核算污染源源强。

(3) 新工艺、新污染防治技术的源强核算

对于国内外首次采用的生产工艺、污染防治技术，可参考中试数据确定污染源源强。

6.10 附录

6.10.1 附录 A（资料性附录）锅炉建设项目源强核算结果及相关参数列表形式

附录 A 为资料性附录，给出了锅炉建设项目废气污染物、废水污染物、噪声、固体废物源强核算结果汇总样表格式。锅炉建设项目环境影响评价过程中源强核算结果可参照附录 A 表格样式进行汇总和填写。

6.10.2 附录 B（资料性附录）锅炉废气源强核算参数参考值

附录 B 为资料性附录，根据《工业锅炉实用手册》《实用锅炉手册（第二版）》《建材火电类环境影响评价》《工业锅炉房设计手册（第二版）》《环境保护计算手册》等资料，结合锅炉发展现状、环保措施升级、排放限值等情况，在现状调研与咨询专家意见基础上，给出了锅炉机械不完全燃烧热损失、锅炉烟气带出的飞灰份额、燃料中硫转化率、飞灰、炉渣中可燃物含量（含碳量）、Ca/S 摩尔比等参数。

6.10.3 附录 C（资料性附录）锅炉烟气量的计算

附录 C 为资料性附录，根据《实用锅炉手册（第二版）》《锅炉原理》《工业锅炉房设计手册（第二版）》^[10,11,18]以及《工业锅炉实用手册》《实用锅炉手册（第二版）》《环境统计手册》《工业锅炉房设计手册（第二版）》《环境保护计算手册》^[6,10,13,18,21]中的烟气量经验计算公式，附录 C 分别针对不同燃料、不同条件，给出了烟气量的计算公式。

需要说明的是，根据《实用锅炉手册（第二版）》《火力发电厂燃烧系统设计计算技术规程》

等文献，流化床锅炉添加石灰石等脱硫剂分解产生 CO₂ 增加的烟气量很小，参与反应导致的吸热、放热量也相对较小，计算时可忽略^[10,19]，如需精确计算可参考《火力发电厂燃烧系统设计计算技术规程》《循环流化床锅炉性能试验规程》^[19,20]。

6.10.4 附录 D（资料性附录）锅炉相关设备噪声源强参考值

附录 D 为资料性附录，根据行业实际情况，《指南》通过系统地收集并综合整理锅炉运行企业环评报告的声源数据、调研数据、行业技术政策给出的声源参数等，并咨询行业专家意见，给出锅炉噪声设备的 A 声级及常见噪声治理措施及其效果，可供类比法核算新（改、扩）建工程噪声源强时参考。

7 实施本标准的管理措施、技术措施、实施方案建议

7.1 进一步强化自动监测系统对污染源强核算的有效支撑

自动监测系统管理简便、监测数据量大，是监控排污单位许可排放浓度达标以及支撑实际排放量核算的有效手段。《指南》提出对安装自动监测系统并与环保部门联网的污染源、污染物，依据自动监测数据核算污染源强，同时提出，现有工程非正常工况情况下，污染源源强采用实测法。因此，源强核算的准确性将依赖于自动监测数据。

但现阶段，环境保护主管部门对自动监测数据的管理和应用偏弱，自动监控设施“联而不传”、数据“传而不用”、数据的有效性不足等问题突出；非正常工况下，软件设置自动剔除自动监测数据，或缺少自动监测系统，导致难以对非正常工况下的排放行为实施管控。

因此，建议管理部门加强自动监测系统的管理，提升自动监测的技术水平和法律地位，保留非正常工况自动监测数据并如实上传，保证自动监测数据的完整性，为本标准的实施提供保障。

7.2 加强培训，推进标准实施

《指南》颁布实施后，应及时开展对相关人员的专业培训，使其能够掌握和应用本标准开展锅炉建设项目污染源源强核算。同时，在标准使用过程中，如发现问题可及时向生态环境部反馈，以利于本标准的修订完善。

7.3 适时开展标准实施评估

建议结合环评与排污许可制度实施情况、全国污染源普查工作，适时开展《指南》实施效果评估，及时开展《指南》的修订工作。

参考文献

- [1] 国家质量监督检验检疫总局. 质检总局关于 2010-2016 年全国特种设备安全状况情况的通报 [EB/OL].<http://www.aqsiq.gov.cn/>.
- [2] 中国电力企业联合会. 2010-2016 年电力工业统计基本数据[EB/OL]. <http://www.cec.org.cn/>.
- [3] 史培甫. 工业锅炉节能减排应用技术[M].北京: 2009.
- [4] 陈纪龙. 中小型工业锅炉选型与操作指南[M].北京: 2000.
- [5] 北京市劳动保护科学研究所. 典型锅炉主要污染防治技术措施测试专题报告[R].北京: 2017.
- [6] 江苏省机械工业锅炉科技情报网. 工业锅炉实用手册[M].南京: 1991.
- [7] 环境保护部科技标准司. 《火电厂大气污染物排放标准》(GB 13223-2011) 实施评估[R].北京: 2016.
- [8] 傅玥雯. 锅炉大气污染物排放标准趋严[N]. 中国能源报, 2013-08-12.
- [9] 张春燕. 燃煤锅炉排放标准将收严[N]. 中国环境报, 2014-04-17.
- [10] 林宗虎, 徐通模. 实用锅炉手册(第二版) [M]. 北京: 2009.
- [11] 陈刚. 锅炉原理[M]. 武汉: 2012.
- [12] DB 44/765. 广东省地方标准《锅炉大气污染物排放标准》编制说明[S].
- [13] 方品贤, 江欣, 奚元福. 环境统计手册[M]. 重庆: 1985.
- [14] 朱法华, 钟鲁文, 王强, 等. 火电行业主要污染物产排污系数[M]. 北京: 2009.
- [15] 环境保护部环境工程评估中心. 建材火电类环境影响评价[M]. 北京: 2012.
- [16] HJ 462-2009. 工业锅炉及炉窑湿法烟气脱硫工程技术规范[S].
- [17] HJ 888-2017. 污染源源强核算技术指南 火电[S].
- [18] 航天工业部第七设计研究院. 工业锅炉房设计手册(第二版) [M]. 北京: 1986.
- [19] DL/T 5240-2010. 火力发电厂燃烧系统设计计算技术规程[S].
- [20] DL/T 964-2005. 循环流化床锅炉性能试验规程[S].
- [21] 奚元福. 环境保护计算手册[M]. 成都: 1990.
- [22] GB/T 15317-2009. 燃煤工业锅炉节能监测[S].
- [23] 邱征宇, 熊伟东, 赵辉. 杭州市工业锅炉运行现状及能效状况分析[J]. 工业锅炉, 2017(4): 42-46.
- [24] GB/T 17954-2007. 工业锅炉经济运行[S].
- [25] 李四海, 成德芳, 刘小东, 等. 浙江省在用工业锅炉信息统计及能耗分析[J]. 能源工程,

- 2013(5): 13-17.
- [26] 刘诗词. 机械不完全燃烧热损失的简化计算[J]. 电力技术, 1981(1): 7-9, 19.
- [27] DL/T 5142-2012. 火力发电厂除灰设计规程[S].
- [28] 姚芝茂, 李俊, 滕云. 中小型燃用烟煤层燃炉 SO₂ 生成特征的研究[J]. 环境工程, 2009(27): 277-282.
- [29] 姚芝茂, 欧阳朝斌, 滕云, 等. 燃油锅炉燃烧过程 SO₂ 的生成与排放特征[J]. 环境工程学报, 2009(3): 2037-2042.
- [30] 聂虎, 余春江, 韦威, 等. 生物质燃烧硫迁徙规律试验[J]. 太阳能学报, 2011(32): 1671-1676.
- [31] 聂虎, 余春江, 柏继松, 等. 生物质燃烧中硫氧化物和氮氧化物生成机理研究[J]. 热力发电, 2010(39): 21-26, 34.
- [32] 柏继松. 生物质燃烧过程氮和硫的迁移、转化特性研究[D]. 浙江大学, 2012.
- [33] 工业锅炉 NO_x 控制技术指南 (试行) (粤环〔2015〕70 号). [S].
- [34] 许月阳, 薛建明, 王宏亮, 等. 燃煤烟气常规污染物净化设施协同控制汞的研究[J]. 中国电机工程学报, 2014(34): 3924-3931.
- [35] 许月阳, 薛建明, 管一明, 等. 燃煤电厂汞污染控制技术研究[J]. 中国电机工程学报, 2011(31): 178-182.
- [36] 惠霖霖, 张磊, 王祖光, 等. 中国燃煤电厂汞的物质流向与汞排放研究[J]. 中国环境科学, 2015 (35): 2241-2250.