

国家标准
除尘器能效限定值及能效等级
(征求意见稿)

编制说明

标准修订工作组
2026年7月8日

目 录

- 一、工作简况，包括任务来源、起草人员及其所在单位、起草过程等
- 二、编制原则、强制性国家标准主要技术变化的依据（包括验证报告、统计数据等）及理由
- 三、与有关法律、行政法规和其他强制性标准的关系，配套推荐性标准的制定情况
- 四、与国际标准化组织、其他国家或者地区有关法律法规和标准的比对分析
- 五、重大分歧意见的处理过程、处理意见及其依据
- 六、对强制性国家标准自发布日期至实施日期之间的过渡期（以下简称过渡期）的建议及理由，包括实施强制性国家标准所需要的技术改造、成本投入、老旧产品退出市场时间等
- 七、与实施强制性国家标准有关的政策措施，包括实施监督管理部门以及对违反强制性国家标准的行为进行处理的有关法律、行政法规、部门规章依据等
- 八、是否需要对外通报的建议及理由
- 九、废止现行有关标准的建议
- 十、涉及专利的有关说明
- 十一、强制性国家标准所涉及的产品、过程或者服务目录
- 十二、其他应当予以说明的事项

国家标准

除尘器能效限定值及能效等级

（征求意见稿）

编制说明

一、工作简况，包括任务来源、起草人员及其所在单位、起草过程等

1.1 任务来源

《除尘器能效限定值及能效等级》国家标准项目任务来源为 2025年7月31日“国家标准化管理委员会关于下达《学校安全与健康设计通用规范》等18项强制性国家标准制修订计划和相关标准外文版计划的通知”（国标委发[2025]39号），项目计划编号20253202-Q-469，是对 GB 37484-2019 强制性国家标准项目的修订。项目提出及归口单位为国家标准化管理委员会，项目执行单位为全国能源基础与管理标准化技术委员会（SAC/TC 20）。主要起草单位：中国标准化研究院、浙江菲达环保科技股份有限公司、科林环保装备股份有限公司、福建龙净环保股份有限公司、中铝环保节能集团有限公司、国能龙源环保有限公司、浙江菲达电气工程有限公司、南方电网电力科技股份有限公司、清凯环保科技有限公司、纳路（厦门）环保科技有限公司、安徽天顺环保设备股份有限公司、北京力博明科技发展有限公司等。项目周期16个月。

1.2 主要工作过程

（1）起草阶段：

2025年8月，全国能源基础与管理标准化技术委员会（SAC/TC 20）组织成立了由中国标准化研究院、浙江菲达环保科技股份有限公司、科林环保装备股份有限公司、福建龙净环保股份有限公司等单位共同组成的标准修订工作组，明确了 对GB 37484-2019进行修订的工作重点、各单位分工及总体进程安排。

- 梳理GB 37484-2019 标准实施情况。修订工作组收集了近五年除尘器生产企业、使用单位的能效数据，分析限定值与等级指标的适用性，明确是否存在指标过松或过严问题。同时调研标准执行中的实际问题反馈，如检测方法争议、企业合规难点等。
- 摸清行业产业现状。重点掌握中小企业的生产工艺与能效水平，避免标准脱离实际，统计重点用能行业（电力、钢铁、水泥等）的除尘器使用现状，了解不同工况下的能效诉求。如：广泛收集、分析国内外相关技术文献和资料，调研国内相关电除尘器比电耗，对主要技术指标进行试验验证；调研了国内超低排放后燃煤电厂干式电除尘器138套、烧结机头干式电除尘器64套和湿式电除尘器135套。
- 跟踪技术和政策发展，挖掘能效提升潜力。了解并掌握国内外高效除尘技术（如低阻滤料、智能清灰等）的研发与应用，测试新型设备的能效参数，评估技术迭代对能效

指标的提升空间。衔接“双碳”目标及节能法规要求，明确能效提升的政策导向。结合环保标准升级需求，调研除尘器在达标排放前提下的能效优化潜力，确保能效与环保指标协同。

- 汇总调研成果。完成资料、数据等收集、整理，通过多方讨论，整合各方意见，形成调研数据报告；进一步明确了本次修订标准的适用范围、规范性引用文件和需要增补的术语和定义，细化检测方法，规范比电耗计算公式、样品选取等流程，解决现行标准争议点，为标准修订奠定基础。
- 进一步明确本次修订工作比电耗确定的基本原则，即：在行业内淘汰10%，鼓励先进20%，生产企业达标70%。其中，达标的作为三级指标，先进的作为二级指标，先进中前5%作为一级指标。剩余10%作为淘汰超。修订工作组各任务分工单位按照各自分工设定各类除尘器能效等级指标，完成新版GB 37484 中电除尘器、袋式除尘器和电袋复合除尘器各部分技术内容的修订，同步阐述指标取值依据、国内外标准对比及试验数据，于2026年3月25日初步形成国家标准GB 37484《除尘器能效限定值及能效等级》内部征求意见稿及编制说明初稿。
- 2026年3月26日~4月20日，邀请国内电除尘器、袋式除尘器、电袋复合除尘器主要设计单位、制造企业和测试机构共20余位专家进行内部意见征求。根据专家意见进行了修改、完善，于2026年4月30日形成国家标准GB 37484《除尘器能效限定值及能效等级》征求意见稿及编制说明。

(2) 征求意见阶段：

(3) 审查阶段：

(4) 报批阶段：

1.3 主要参加单位和工作组成员及其所做的工作等

本文件起草单位：中国标准化研究院、浙江菲达环保科技股份有限公司、科林环保装备股份有限公司、福建龙净环保股份有限公司、中铝环保节能集团有限公司、国能龙源环保有限公司、浙江菲达电气工程有限公司、南方电网电力科技股份有限公司、清凯环保科技有限公司、纳路（厦门）环保科技有限公司、安徽天顺环保设备股份有限公司、北京力博明科技发展有限公司。

本文件主要起草人：黄进、刘含笑、李磊、陈奎续、余伟奇、郦建国、宋大凯、林春源、何毓忠、沈强、修海明、张启玖、徐秉声、赵海宝、秦奕鹰、郭刚、孙立、沈卫星、李海波、夏炜、钟剑锋、宋子健、沈国荣、刘发秀、王永忠、张晖栋、李德波、苟登军、朱召平、吉志峰、查培强、李泉鸣、陈东春、钟华、刘静、高峰、李宝明、邹吉明。

所做的工作：由黄进、刘含笑、李磊、陈奎续任修订起草工作组组长，负责拟定标准修订工作计划和修订起草工作方案以及各阶段最终统稿；余伟奇、郦建国、宋大凯、林春源、何毓忠、沈强、修海明、张启玖、赵海宝、秦奕鹰、郭刚、孙立、沈卫星、李海波、夏炜、钟剑锋、沈国荣、刘发秀、王永忠、张晖栋、李德波、苟登军、朱召平、

吉志峰、查培强、李泉鸣、陈东春、钟华、高峰、李宝明、邹吉明等参与起草工作方案讨论，并负责标准中电除尘器、袋式除尘器和电袋复合除尘器部分的实际调研、资料收集与整理；结合当前行业需求及排放政策及目前除尘器的工程应用情况及技术水平，负责起草修订标准文本、编制说明等文件，对GB 37484-2019国家标准的落后技术参数及不合理条款进行修订，以及各阶段意见汇总处理，黄进负责协调和最终统稿；黄进、徐秉声、宋子健、刘静负责标准规范性指导；刘含笑、李磊、陈奎续、余伟奇、郇建国、宋大凯、林春源、何毓忠、沈强、修海明、张启玖、赵海宝、秦奕鹰、郭刚、孙立、沈卫星、李海波、夏炜、钟剑锋、沈国荣、刘发秀、王永忠、张晖栋、李德波、苟登军、朱召平、吉志峰、查培强、李泉鸣、陈东春、高峰、李宝明、邹吉明负责标准方案验证。

二、编制原则和强制性国家标准主要技术变化的依据（包括验证报告、统计数据等）及理由

2.1 标准编制原则

本文件是对GB 37484—2019《除尘器能效限定值及能效等级》国家标准的第一次修订，经过近十年的发展，除尘技术日趋成熟，设计选型技术不断发展进步，产品结构实现多元化，应用领域越来越广。同时，随着双碳战略推进、行业技术迭代、环保监管升级及市场规范需求，国家节能降碳政策不断深化，重点行业超低排放常态化推进，自GB 37484—2019标准发布实施以来，经过不断的测试、验证，并结合当前超低排放的要求，原来的能效等级指标应及时做出适当调整。

为贯彻《中华人民共和国大气污染防治法》要求，推动大气污染物控制装备从“达标排放”向“高效节能”转型升级，引导行业以技术创新支撑“双碳”目标，在保证环保产品达标排放的前提下，提高环保产品的技术水平、产品质量并降低运行综合成本，促进环境效益、经济效益和社会效益的统一。本次修订标准以国家环境保护和污染防治相关法律、法规、规章、技术政策和规划为依据，促进环境效益、经济效益和社会效益的统一。总体遵循“面向市场、服务产业、自主制定、适时推出、及时修订、不断完善”的原则，标准的修订与技术创新、试验验证、产业推进、应用推广相结合，统筹推进，坚持技术创新、促进产业升级、推动行业发展。

为此，标准修订遵循以下四大核心原则：

——一是政策协同原则，紧扣“双碳”目标与减污降碳协同要求，能效指标与环保标准、节能法规精准衔接。

——二是先进性与可行性统一原则，1级指标对标国际先进水平及行业前5%产能，2级为鼓励先进占比20%，3级旨在淘汰或改造比电耗超过此值的高能耗现役电袋复合除尘器，满足要求的产品占比约为90%，兼顾技术引领与企业适配性。

——三是技术适配原则，结合低阻滤料、智能清灰等新技术，优化指标设定与检测方法，确保标准服务技术迭代。

——四是系统性原则，统筹电力、非电、水泥等重点行业需求，衔接现行能效标杆水平，实现标准间协调配套。

此外，本次修订标准按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》给出的规则和要求编写。

2.2 主要技术变化的依据

2.2.1 范围

本文件规定了除尘器的能效等级、技术要求和测试方法。

本文件适用于燃煤电厂锅炉和钢铁行业烧结机头烟气除尘用干式电除尘器；燃煤电厂锅炉和钢铁行业烟气除尘用湿式电除尘器；燃煤锅炉用袋式除尘器、水泥新型干法回转窑用袋式除尘器、钢铁烧结半干法脱硫除尘用袋式除尘器；以及燃煤电厂锅炉、水泥新型干法回转窑、氧化铝焙烧炉烟气除尘用的电袋复合除尘器。

根据产品的应用领域推广，本次修订标准扩充了电除尘器、电袋复合除尘器的适用范围。新、旧版国家标准各类除尘器适用范围修订变化对比见表1。

表1 新、旧版国家标准各类除尘器适用范围修订变化对比

除尘器类型 及 适用范围	GB 37484—2019	GB 27484—202X
电除尘器	● 燃煤电厂锅炉烟气除尘用干式电除尘器	● 燃煤电厂锅炉和钢铁行业烧结机头烟气除尘用干式电除尘器； ● 燃煤电厂锅炉和钢铁行业烟气除尘用湿式电除尘器
袋式除尘器	● 电力行业的燃煤锅炉烟气除尘用袋式除尘器 ● 建材行业水泥新型干法回转窑烟气除尘用袋式除尘器 ● 钢铁行业烧结烟气半干法脱硫除尘用袋式除尘器	● 燃煤锅炉用袋式除尘器 ● 水泥新型干法回转窑用袋式除尘器 ● 钢铁烧结半干法脱硫除尘用袋式除尘器

电袋复合除尘器	● 燃煤电厂锅炉 ● 水泥新型干法回转窑烟气除尘用的电袋复合除尘器	● 燃煤电厂锅炉 ● 水泥新型干法回转窑 ● 氧化铝焙烧炉烟气除尘用的电袋复合除尘器
---------	--	--

2.2.2 规范性引用文件

本次修订标准对 GB 37484—2019中规范性引用文件进行逐一核对，删除了1项规范性引用文件GB 19153 《容积式空气压缩机能效限定值及能效等级》，新增了4项规范性引用文件GB/T 40514 《电除尘器》、JB/T 12532 《顶置湿式电除尘器》、JB/T 12593 《燃煤烟气湿法脱硫后湿式电除尘器》和JB/T 13556 管式湿式电除尘器。

目前规范性引用文件如下：

GB/T 6719 袋式除尘器技术要求

GB/T 13931 电除尘器 性能测试方法

GB/T 16845 除尘器 术语

GB/T 27869 电袋复合除尘器

GB/T 32154 电袋复合除尘器性能测定方法

GB/T 40514 电除尘器

DL/T 514 电除尘器

JB/T 5910 电除尘器

JB/T 11267 顶部电磁锤振打电除尘器

JB/T 12532 顶置湿式电除尘器

JB/T 12593 燃煤烟气湿法脱硫后湿式电除尘器

JB/T 13556 管式湿式电除尘器

2.2.3 术语和定义

本次修订标准对 GB 37484—2019中能效限定值及能效等级的术语和定义进行系统梳理，同时为方便采标，确定了7个术语和定义。新增“湿式电除尘器”和“湿式电除尘器电耗”2个术语和定义。其中“湿式电除尘器”和“湿式电除尘器电耗”是在国家标准《高效能大气污染物控制装备评价技术要求 第6部分：湿式电除尘器》（GB/T 33017.6-2024）术语基础上结合本文件进行了调整。

3.6 湿式电除尘器 wet electrostatic precipitator

通过水或其他液体清除吸附在电极上的颗粒物的电除尘器。

注：本文件中湿式电除尘器指金属板式、导电玻璃钢及不锈钢管式湿式电除尘器。

[来源：GB/T 33017.6—2024, 3.1, 有修改]

3.7 湿式电除尘器电耗 power consumption of wet electrostatic precipitator

湿式电除尘器单位时间消耗的总有功电量。

注：不包括阻力电耗，单位为千瓦时每小时（kW·h/h）。

[来源：GB/T 33017.6—2024, 3.3, 有修改]

2.2.4 能效等级

2.2.4.1 除尘器能效等级

(1) 电除尘器部分

根据本次标准修订的要求，电除尘器能效等级分为3级，其中1级能效最高，相当于先进值和目标值，旨在为将来能效领跑者做支撑，满足要求的产品占比约为5%；2级为节能优秀机组的评价指标，旨在鼓励机组达到良好的节能水平，满足要求的产品占比约为20%；3级为能效限定值，旨在淘汰或改造比电耗超过此值的高能耗现役电除尘产品，满足要求的产品占比约为90%。通过国内外典型工程案例调研、统计和分析，对标国家排放标准及政策、国家标准和行业标准，确定干式电除尘器、湿式电除尘器的定量能效等级指标。

本次标准修订调整了燃煤电厂干式电除尘器能效等级，能效限定值适当降低，更符合超低排放改造之后的燃煤电厂干式电除尘器能效现状；新增了钢铁行业烧结机头干式电除尘器能效等级，使标准更加全面，填补了钢铁行业烧结机头领域能效等级的空白；新增了燃煤电厂锅炉和钢铁行业烟气除尘用湿式电除尘器能效等级，填补了湿式电除尘领域能效等级的空白；更改了5.1.2通用要求；更改了6.1测试方法。

a) 本次标准修订更改了燃煤电厂干式电除尘器能效等级。编制组借助搜集总结测试报告、实地考察、咨询专家以及依据工程项目应用与运行实践中积累的经验，运用科学方法对这些资料进行系统甄别和梳理，从而保证数据的代表性与准确性。借此调研了国内主要的电除尘器本体厂家和测试单位提供的138台套电除尘器的高低压单位时间电耗，涉及国内业绩广泛的本体厂家和权威性的测试单位，提供的数据能代表国内整体的燃煤电厂干式电除尘器运行情况。

由于超低排放政策的实施，特别是部分地区要求电除尘器具有更低的出口含尘浓度，电除尘器的容量进一步增加，电耗增加，电除尘器实际比电耗增加；燃煤电厂煤种复杂多变及灵活调峰也会导致电除尘器除尘性能下降，运行电耗相应增加；低低温电除尘技术的推广也会一定程度增加电除尘器比电耗，因此综合考虑在修订标准中将干式电除尘器的1级和2级能效指标较现行标准增加约20%，由于原标准3级能效要求已较为宽松，因此3级能效保持不变，避免降低电除尘产品的质量水平。

表1 燃煤电厂干式电除尘器能效等级

能效等级	出口烟气含尘浓度 c_{out} (mg/ m^3)	比电耗 ($\times 10^{-3} kW \cdot h/m^3$)		
		300MW级	600MW级	1000MW级
1	$20 < c_{out} \leq 30$	0.25	0.24	0.23
	$15 < c_{out} \leq 20$	0.32	0.30	0.29
	$c_{out} \leq 15$	0.38	0.36	0.35
2	$20 < c_{out} \leq 30$	0.33	0.31	0.30
	$15 < c_{out} \leq 20$	0.41	0.39	0.38
	$c_{out} \leq 15$	0.49	0.47	0.45
3	$20 < c_{out} \leq 30$	0.59	0.56	0.54
	$15 < c_{out} \leq 20$	0.71	0.67	0.65
	$c_{out} \leq 15$	0.82	0.78	0.76

b) 增加了钢铁行业烧结机头干式电除尘器能效等级（见4.1.2）。为响应钢铁行业超低排放政策，通过搜集总结测试报告、实地勘察、咨询专家以及依据工程项目应用与运行实践中积累的经验，调研了国内主要的6家大型烧结机头干式电除尘器厂家提供的超低排放改造后64台套烧结机头干式电除尘器，确定钢铁行业烧结机头干式电除尘器的定量能效等级指标。本次标准修订增加了钢铁行业烧结机头干式电除尘器能效等级，见表2。具体案例信息见第三章主要试验（或验证）情况分析。

表2 钢铁行业烧结机头干式电除尘器能效等级

能效等级	出口烟气含尘浓度 c_{out} (mg/ m^3) ¹⁾	比电耗 ($\times 10^{-3} kW \cdot h/m^3$)	
		烧结机头面积 $\geq 360 m^2$	烧结机头面积 $< 360 m^2$
1	$30 < c_{out} \leq 40$	0.35	0.46
	$c_{out} \leq 30$	0.42	0.55
2	$30 < c_{out} \leq 40$	0.46	0.60
	$c_{out} \leq 30$	0.55	0.72
3	$30 < c_{out} \leq 40$	0.80	1.04
	$c_{out} \leq 30$	0.96	1.25

c) 增加了湿式电除尘器能效等级（见4.1.3燃煤电厂锅炉和钢铁行业烟气除尘用湿式电除尘器能效等级）。在标准修订前，对于湿式电除尘器的能耗水平没有国家层面的限定值和评价等级，导致对这部分新增的能耗缺乏有效约束和引导，编制组通过搜集总结测试

¹⁾ 本文件中所规定的烟气含尘浓度指标标准状态下干烟气，并折算到对应排放标准基准氧含量时的数值。

报告、实地考察、咨询专家以及依据工程项目应用与运行实践中积累的经验，调研了国内超低排放改造后135套燃煤电厂湿式电除尘器的比电耗，确定湿式电除尘器的定量能效等级指标。本次标准修订增加了钢铁行业烧结机头干式电除尘器能效等级，见表3。具体案例信息见第三章主要试验（或验证）情况分析。

表3 湿式电除尘器能效等级

能效等级	比电耗 ($\times 10^{-3} \text{ kW} \cdot \text{h/m}^3$)
1	0.06
2	0.12
3	0.32

d) 更改了通用要求。在原标准的基础上，引用了《电除尘器》（GB/T 40514），将5.1.2由“除尘器的出口烟气含尘浓度应满足国家及地方有关环保排放标准和要求”更改为“除尘器的出口烟气含尘浓度应满足设计和合同要求”。

e) 将6.1由“除尘器性能测试应在符合设计要求的正常运行条件下稳定运行3个月后，主机负荷大于90%额定负荷下进行”。更改为“除尘器性能测试应在稳定运行1个月后进行”。

（2）袋式除尘器部分

● 出口烟气含尘浓度分档布局及指标值修改

出口烟气含尘浓度是袋式除尘器的一个重要的技术指标。袋式除尘器作为一种通用的高效除尘设备，现已广泛应用于钢铁冶金、燃煤锅炉、工业窑炉、建材、粮油、机械电子、轻工化工、有色金属等行业，且各行业鉴于行业特性、体量和历史原因，对除尘器的出口烟气含尘浓度要求不同且差异较大。随着除尘技术进步和环保政策驱动，电力、钢铁、水泥等重点行业从2014年开始逐步实施了 $\leq 10 \text{ mg/m}^3$ 超低排放政策，近年来部分企业进一步实施了 $\leq 5 \text{ mg/m}^3$ 的超净排放，目前我国工业烟气超低排放已呈常态化要求。

此次环保指标修订主要是基于电力、水泥和钢铁等行业超低排放要求，修改如下：

标准中表4（燃煤锅炉袋式除尘器能效等级）中出口烟气含尘浓度值由 $\leq 15 \text{ mg/m}^3$ 、15-20 mg/m^3 和20-30 mg/m^3 三档布局修改为 $\leq 10 \text{ mg/m}^3$ 和10-30 mg/m^3 两档布局；标准中表5（水泥新型干法回转窑袋式除尘器能效等级）和标准中表6（钢铁烧结半干法脱硫高效能袋式除尘器评价）中出口烟气含尘浓度值原 $\leq 20 \text{ mg/m}^3$ 、20-30 mg/m^3 修改为 $\leq 10 \text{ mg/m}^3$ 、10-30 mg/m^3 。

● 比电耗指标值修改

“双碳”背景下，节能是提高除尘技术核心竞争力的重要途径，除尘技术将从“减污”向“减污+效能”转变。本标准作为指导高效能除尘器评价的重要标准，随着近年来国家制造业

向绿色、低碳、高效方向持续转型，标准中的能耗指标亟需根据应用实际做适当调整，匹配当前产业发展水平。根据国家发改委、市监总局发布的规范，3级能效体系取值原则为：

——能效1级为先进水平、领跑者等级，定位国际 / 国内顶尖能效，代表行业最高技术水平，原则上对应同类产品能效前5%左右的最优水平，以国际领先标准、能效“领跑者”指标及实验室最优数据为依据，树立技术标杆、引导企业创新；

——能效2级为节能水平，属于高效节能产品且优于市场平均，原则上对应同类产品能效前20%左右水平，依据主流头部企业成熟量产技术制定，兼顾先进性与经济性，作为节能认证、新建项目及政府采购的设备采购门槛；

——能效3级为准入水平、市场底线，定位市场平均水平，是产品上市销售的最低强制性门槛，依据行业普查数据设定，确保多数合规企业可达，同时淘汰能效后20%左右的低效产品、倒逼落后产能退出。

标准修订工作组先通过发放调研表、现场走访、网络相关资源收集汇总，然后根据工程项目的运用和运行经验的积累，结合科学方法有效甄别和梳理上述原始数据，确保数据的代表性和准确性。最终燃煤锅炉用袋式除尘器收集到29个有效案例，水泥新型干法回转窑用袋式除尘器收集到11个有效案例、钢铁烧结半干法脱硫除尘用袋式除尘器收集到12个有效案例，具体案例信息见第三章主要试验（或验证）情况分析。

对于燃煤锅炉，根据调研数据电力、热电联产、供热及企业自备电站等各类燃煤锅炉由于超低排放政策的全面实施，除尘器运行能耗相对有所上升，但是随着近年来智能控制及滤料技术的进步，以及除尘器运行管理水平提升，整体能耗水平没有明显上升，所以，此次修订燃煤锅炉用袋式除尘器的能效等级的比电耗没有进一步加严，1级能效保持不变，2级和3级由于“出口烟气含尘浓度值”的三档调整为两档，适当提高了下限值，调整后具体如下：

燃煤锅炉袋式除尘器能效等级

能效等级	出口烟气含尘浓度值 C_{out} (mg/m ³)	比电耗 ($\times 10^{-3}$ kW·h / m ³)	
		300 MW（或相当规模）级及以下	600 MW级及以上
1	$10 < C_{out} \leq 30$	0.26	0.25
	$C_{out} \leq 10$	0.29	0.28
2	$10 < C_{out} \leq 30$	0.30	0.29
	$C_{out} \leq 10$	0.34	0.32
3	$10 < C_{out} \leq 30$	0.40	0.39
	$C_{out} \leq 10$	0.45	0.44
注：当机组容量扩容后，仍按照未扩容前的机组容量进行考核。			

此外，考虑各类非电燃煤锅炉通常以t/h作为规模单位，目前多数热电锅炉规模小于1000t/h,基本是落在300MW级档的。但是为了分档更为清晰准确，表格中原来分档“300MW级及以下”增加了或相当规模的补充说明，“600 MW级”调整为“600 MW级及以上”。

对于水泥新型干法回转窑，根据调研数据，没有调整对应除尘器能效等级的比电耗，具体如下：

水泥新型干法回转窑袋式除尘器能效等级

能效等级	出口烟气含尘浓度值 C_{out} (mg/m ³)	比电耗 ($\times 10^{-3}$ kW·h / m ³)	
		窑头	窑尾
1	$10 < C_{out} \leq 30$	0.21	0.23
	$C_{out} \leq 10$	0.22	0.25
2	$10 < C_{out} \leq 30$	0.24	0.26
	$C_{out} \leq 10$	0.25	0.28
3	$10 < C_{out} \leq 30$	0.28	0.32
	$C_{out} \leq 10$	0.30	0.35

对于钢铁烧结半干法脱硫除尘。根据调研数据，相对加严了3级能效的比电耗值，其他1级和2级没有调整，调整后具体如下：

钢铁烧结烟气半干法脱硫袋式除尘器能效等级

能效等级	出口烟气含尘浓度值 C_{out} (mg/m ³)	比电耗 ($\times 10^{-3}$ kW·h / m ³)	
		循环流化床法	旋转喷雾干燥法
1	$10 < C_{out} \leq 30$	0.42	0.41
	$C_{out} \leq 10$	0.43	0.42
2	$10 < C_{out} \leq 30$	0.49	0.46
	$C_{out} \leq 10$	0.51	0.48
3	$10 < C_{out} \leq 30$	0.59	0.51
	$C_{out} \leq 10$	0.62	0.54

(3) 电袋复合除尘器部分

根据本次标准修订的要求，电袋复合除尘器能效等级分为3级，其中1级能效最高，相当于先进值和目标值，旨在为将来能效领跑者做支撑，满足要求的产品占比约为5%；2级为节能优秀机组的评价指标，旨在鼓励机组达到良好的节能水平，满足要求的产品占比约为20%；3级为能效限定值，旨在淘汰或改造比电耗超过此值的高能耗现役电除尘产品，满足要求的产品占比约为90%。通过国内外典型工程案例调研、统计和分析，对标国家排放标准及政策、国家标准和行业标准，确定电袋复合除尘器的定量能效等级指标。本次标准修订增加了氧化铝焙烧炉电袋复合除尘器能效等级。

氧化铝焙烧炉电袋复合除尘器能效等级

能效等级	出口烟气含尘浓度 c_{out} [mg/m ³ (标态, 干基)]	比电耗 (10 ⁻³ kW·h/m ³)
1级	$c_{out} \leq 10$	0.34
2级	$c_{out} \leq 10$	0.38
3级	$c_{out} \leq 10$	0.52

2.2.4.2 除尘器比电耗计算方法

本次修订标准对除尘器比电耗、除尘器单位时间主要电耗（包括干式电除尘器单位时间主要电耗、湿式电除尘器单位时间主要电耗、袋式除尘器单位时间主要电耗和电袋复合除尘器单位时间主要电耗）、除尘器阻力电耗和其他电耗（除尘器其他电耗包括袋式除尘器清灰电耗和电袋复合除尘器空压机系统单位时间电耗）均做出了计算方法的规定。

（1）电除尘器部分单位时间主要电耗的组成

干式电除尘器单位时间主要电耗包括电除尘器阻力电耗、电除尘器高压供电设备单位时间电耗和电除尘器低压用电设备单位时间电耗；湿式电除尘器的单位时间电耗主要包括电除尘器高压供电设备单位时间电耗和电除尘器低压用电设备单位时间电耗，不包括阻力电耗。

● 干式电除尘器单位时间主要电耗的计算方法（同GB 37484—2019）

干式电除尘器单位时间主要电耗按公式（2）计算：

$$W = W_r + W_{hv} + W_{lv} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

W ——干式电除尘器单位时间电耗，单位为千瓦时每小时（kW·h/h）；

W_r ——干式电除尘器阻力电耗，按下式计算，单位为千瓦时每小时（kW·h/h）；

W_{hv} ——干式电除尘器高压供电设备单位时间电耗，单位为千瓦时每小时（kW·h/h）；

W_{lv} ——干式电除尘器低压用电设备单位时间电耗，单位为千瓦时每小时（kW·h/h）

除尘器阻力电耗计算公式：

$$W_r = \frac{Q \times \Delta P}{1000 \times 3600 \times 0.85}$$

式中：

W_r ——除尘器阻力电耗，单位为千瓦时每小时（kW·h/h）；

Q ——除尘器单位时间处理的工况烟气量，单位为立方米每小时（m³/h）；

ΔP ——除尘器压力降，单位为帕（Pa）；

0.85 ——电除尘系统引风机和传动设备等引起的综合效率系数。

● 新增湿式电除尘器单位时间主要电耗的计算方法

湿式电除尘器单位时间主要电耗按下式计算：

$$W_v = W_{hv} + W_{lv}$$

式中：

W_v ——湿式电除尘器电耗，不包括阻力电耗。当设备与其他系统共用时，电耗按各系统消耗比例进行折算，单位为千瓦时每小时(kW·h/h)；

W_{hv} ——湿式电除尘器高压供电设备单位时间电耗，单位为千瓦时每小时(kW·h/h)；

W_{lv} ——湿式电除尘器低压用电设备单位时间电耗，单位为千瓦时每小时(kW·h/h)。

(2) 袋式除尘器部分单位时间主要电耗的组成

袋式除尘器的单位时间主要电耗包括：袋式除尘器的阻力电耗、袋式除尘器的清灰电耗和袋式除尘器低压用电设备单位时间电耗。

袋式除尘器单位时间主要电耗按下式计算：

$$W = W_r + W_{dc}$$

式中：

W_r ——袋式除尘器阻力电耗，按下式计算，单位为千瓦时每小时(kW·h/h)；

W_{dc} ——袋式除尘器清灰电耗，按公式(7)计算，单位为千瓦时每小时(kW·h/h)。

除尘器阻力电耗计算公式：

$$W_r = \frac{Q \times \Delta P}{1000 \times 3600 \times 0.85}$$

式中：

W_r ——除尘器阻力电耗，单位为千瓦时每小时(kW·h/h)；

Q ——除尘器单位时间处理的工况烟气量，单位为立方米每小时(m³/h)；

ΔP ——除尘器压力降，单位为帕(Pa)；

0.85 ——除尘系统引风机和传动设备等引起的综合效率系数。

袋式除尘器清灰电耗按下式计算：

$$W_{dc} = \frac{3600 \times L \times k \times n}{T}$$

式中：

L——单个脉冲阀清灰耗气量，单位为立方米每次（m³/次）；

k——每立方米的压缩空气电耗，计算取值为0.115kW·h/m³；

n——脉冲阀数量，单位为个；

T——除尘器清灰周期，单位为秒（s）。

（3）电袋复合除尘器部分单位时间主要电耗的组成

电袋复合除尘器的用电设备很多，包括高压设备，加热系统、低压控制系统等，总类繁多，差异大（如灰斗加热有电加热和蒸汽加热）。为了简化统计，规避差异太大无法对比，经过专家多次论证，最终确定仅统计主要电耗，包括：电袋复合除尘器阻力电耗、空压机系统电耗、高压供电设备电耗、绝缘子加热器电耗，其余略去。其中，电袋复合除尘器阻力电耗最大，其次为高压设备电耗。据此通过制定调查表，对行业内电袋复合除尘器的能耗进行摸底调查。

电袋复合除尘器的单位时间主要电耗包括：电袋复合除尘器阻力电耗、空压机系统单位时间电耗、高压供电设备单位时间电耗、绝缘子加热器单位时间电耗，其余略去。因此电袋复合除尘器单位时间的电耗按照下式计算：

$$W = W_r + W_{ac} + W_{hv} + W_{ih}$$

式中：

W_r ——电袋复合除尘器阻力电耗，按公式（2）计算，单位为千瓦·时每小时（kW·h/h）；

W_{ac} ——空压机系统单位时间电耗，按公式（3）计算，单位为千瓦·时每小时（kW·h/h）；

W_{hv} ——高压供电设备单位时间的电耗，单位为千瓦·时每小时（kW·h/h）；

W_{ih} ——绝缘子加热器单位时间的电耗，单位为千瓦·时每小时（kW·h/h）；

除尘器阻力电耗计算公式：

$$W_r = \frac{Q \times \Delta P}{1000 \times 3600 \times 0.85}$$

式中：

Q ——除尘器单位时间处理的工况烟气量，单位为立方米每小时（m³/h）；

ΔP ——电袋复合除尘器压力降，单位为帕斯卡（Pa）；

0.85——引风机效率系数和传动效率系数的乘积。

考虑到原空压机的电耗需要通过空压机输入比功率计算，而很多项目空压机采用利旧，或者多台除尘器共用，比较不准确，同时为了与袋式除尘器的清灰电耗保持相对一致，经讨论论证，电袋复合除尘器空压机系统单位时间电耗按下式计算：

$$W_{ac} = 60 \times k \times L_{\text{电袋}}$$

式中：

k ——每立方米的压缩空气电耗，计算取值为 $0.115\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ ；

$L_{\text{电袋}}$ ——电袋复合除尘器单位时间所需压缩空气耗气量，单位为立方米每分钟（ m^3/min ）。

上述公式中，电袋复合除尘器阻力电耗最大，其次为高压供电设备电耗。据此制定调查表，对行业内电袋复合除尘器的能耗进行摸底调查。

2.2.5 技术要求

2.2.5.1 通用要求

本次修订标准规定了干式电除尘器、湿式电除尘器、袋式除尘器和电袋复合除尘器的设计、制造、和质量应符合的要求；本次修订标准规定了干式电除尘器、湿式电除尘器、袋式除尘器和电袋复合除尘器的出口烟气含尘浓度、压力降和漏风率等性能指标应符合的要求。在GB 37484—2019标准的基础上，引用了GB/T 40514《电除尘器》；将5.1.2由“除尘器的出口烟气含尘浓度应满足国家及地方有关环保排放标准和要求”更改为“除尘器的出口烟气含尘浓度应满足设计要求”。

2.2.5.2 除尘器能效限定值

除尘器的能效限定值为本文件能效等级的3级。合并了GB 37484—2019标准分除尘器类型的分别阐述，更加简介明确。

2.2.6 测试方法

除尘器性能测试应在符合设计要求的正常运行条件下稳定运行1个月后进行。

本次修订标准规定了除尘器性能测试进行的条件；干式电除尘器、湿式电除尘器、袋式除尘器和电袋复合除尘器的出口烟气含尘浓度、压力降、高压供电设备电耗及低压用电设备电耗等测试方法应符合的要求。其中湿式电除尘器部分为新增内容。

2.2.7 主要技术差异

本文件代替 GB 37484—2019《除尘器能效限定值及能效等级》，本文件与 GB 37484—2019 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

电除尘器部分：

- a) 更改了燃煤电厂干式电除尘器能效等级（见表 1，2019 年版的表 1）；
- b) 增加了钢铁行业烧结机头干式电除尘器能效等级（见 4.1.2）；
- c) 增加了湿式电除尘器能效等级（见 4.1.3）；
- d) 更改了除尘器单位时间主要电耗的组成（见 4.2.1，2019 年版的 4.2.1）；
- e) 增加了湿式电除尘器单位时间主要电耗的计算方法（见 4.2.3.2）；
- f) 更改了通用要求（见第 5.1.1、5.1.2 和 5.1.3，2019 年版的 5.1.1、5.1.2 和 5.1.3）；
- g) 更改了测试方法（见 6.1、6.2，2019 年版的 6.1、6.2）；
- h) 将规范性附录 A 更改为资料性附录 A（见附录 A，2019 年版的附录 A）；

袋式除尘器部分：

- a) 修改了标准适用范围（见第 1 章，2016 年版的第 1 章）；
- b) 修改了表 2 的“出口烟气含尘浓度值”的分档布局，并对部分比电耗的指标值进行了修改（见表 2，2019 年版的表 2）；
- c) 修改了表 3 的出口烟气含尘浓度值的指标值（见表 3，2019 年版的表 3）；
- d) 修改了表 4 的出口烟气含尘浓度值的指标值，并对部分比电耗的指标值进行了修改（见表 4，2019 年版的表 4）；

电袋复合除尘器部分：

- a) 修改了本文件适用的范围（见第 1 章，2019 年版的第 1 章）；
- b) 修改了电袋复合除尘器能效等级（见表 5 和表 6，2019 年版的表 5 和表 6）；
- c) 增加氧化铝焙烧炉电袋复合除尘器能效等级（见表 7）；
- d) 修改了电袋复合除尘器空压机系统电耗计算公式（见 4.2.4.2，2019 年版的 4.2.4.2）；
- e) 修改了除尘器性能测试对于主机负荷的要求（见 6.1，2019 年版的 6.1）。

2.2.8 与原标准的技术水平对比

1) 调整了燃煤电厂干式电除尘器能效等级，能效限定值适当降低，更符合超低排放改造之后的燃煤电厂干式电除尘器能效现状。

2) 新增了钢铁行业烧结机头干式电除尘器能效等级，使标准更加全面，填补了钢铁行业烧结机头领域能效等级的空白。

3) 新增了燃煤电厂锅炉和钢铁行业烟气除尘用湿式电除尘器能效等级，填补了湿式电除尘领域能效等级的空白。

4) 在原标准的基础上，引用了《电除尘器》（GB/T 40514）；将 5.1.2 由“除尘器的出口烟气含尘浓度应满足国家及地方有关环保排放标准和要求”更改为“除尘器的出口烟气含尘浓度应满足设计和合同要求”。

5) 将 6.1 改为“除尘器性能测试应在稳定运行 3 个月后，主机在调峰及负荷大于 90%额定负荷下进行”。针对燃煤电厂低负荷运行已成常态的实际情况，明确了电耗测试应在各负荷下都能进行，增加了本标准比电耗对负荷的覆盖范围。

6) 新修订标准适度除尘器出口烟气含尘浓度要求, 与超低排放政策相匹配, 企业制造和使用更高效的除尘设备, 直接助力降低粉尘职业暴露风险和工业区空气质量改善。

7) 新修订比电耗指标值也将按照实际做适当调整, 匹配当前产业发展水平, 促进除尘产业向高效、智能、绿色方向迭代, 为“双碳”战略和生态文明建设提供支撑。

2.3 解决的主要问题

随着我国工业化进程的持续推进, 大气污染防治已成为国家生态文明建设的重点任务。工业除尘设备作为烟气净化的关键环节, 其能耗水平直接影响企业的运行成本与环境绩效。电除尘器是电力、钢铁、建材等行业广泛应用的除尘设备, 尤其在超低排放改造中发挥重要作用。

1) 原标准已不符合超低排放后电除尘器能效现状。《除尘器能效限定值及能效等级》(GB 37484-2019) 于 2019 年发布, 对除尘器的能效限定值和能效等级起到了良好的规范作用。和其核心能效指标数据主要来源于 2015 年超低排放改造之前。2015 年 12 月 11 日, 环境保护部、国家发展和改革委员会、国家能源局联合印发《全面实施燃煤电厂超低排放和节能改造工作方案》, 将电力行业的超低排放提升为国家专项行动, 要求燃煤电厂烟尘排放浓度不高于 10 mg/m^3 , 对除尘器的性能提出了极高的要求, 使得除尘技术必须向更高效、更稳定的方向发展, 原有的能效评价体系已无法覆盖新技术条件下的设备运行状态。为满足超低排放要求, 除尘技术取得了长足进步。例如, 《电除尘器》(GB/T 40514-2021) 等新标准的发布, 大幅提升了电除尘技术水平。经过近十年的发展, 许多高效除尘技术的实际能效水平已不符合现行标准中的等级指标, 原指标无法准确反映当前设备的能效水平, 因此需修订标准更符合超低排放后的实际情况。

2) 填补烧结机头电除尘行业能效等级空白。2019 年 4 月 22 日, 生态环境部、国家发展和改革委员会、工业和信息化部、财政部、交通运输部联合印发《关于推进实施钢铁行业超低排放的意见》, 要求钢铁企业烧结机头颗粒物排放浓度不高于 10 mg/m^3 。为响应钢铁行业超低排放政策, 需要新增烧结机头电除尘器的能效限定值及能效等级填补行业空白。

3) 填补湿式电除尘行业能效等级空白。湿式电除尘器是燃煤电厂和钢铁行业实现超低排放的末端处理技术, 其能耗不可忽视。在标准修订前, 对于湿式电除尘器的能耗水平没有国家层面的限定值和评价等级, 导致对这部分新增的能耗缺乏有效约束和引导, 本次标准的修订填补了这一关键空白。

4) 为响应国家节能减排政策, 我国电除尘技术应挖掘潜力, 完善电除尘器能效限值及节能评价, 实现产品的优胜劣汰, 向进一步提高除尘效率和大幅度降低能耗的方向发展。通过标准, 能够倒逼企业淘汰高耗能、低效率的落后产品, 引导行业从向“高效低耗”协同发展转变。这不仅有助于提升行业的整体技术水平, 还能鼓励企业推广应用减污降碳技术, 推动传统产业的绿色改造, 以标准为基础巩固超低排放的治理成果, 确保在长期运行中, 除尘设备既能稳定达标, 又能经济节能, 为重点行业的节能减排监督管理工作提供科学依据。

5) 修订《除尘器能效限定值及能效等级》核心目标是提升标准的科学性、实操性与前瞻性,解决原有版本在适用范围、指标合理性、测试方法及能效评价体系方面的不足,从而更有效地引导行业高质量发展,支撑环保与节能双重目标的实现。具体而言标准修订解决的主要问题还包括:拓展并明确适用范围,增强标准覆盖力。通过修改第1章的适用范围,使标准更精准地适配当前袋式除尘器的技术演进和应用场景变化。例如,燃煤锅炉不再限定电力机组燃煤锅炉,将热电联产等大量其他燃煤锅炉纳入标准适用范围内,解决标准适用性问题。此外,重构关键指标表达方式,实现精准化管理。对表1中能耗指标栏的布局进行优化,并调整出口烟气含尘浓度和比电耗的限值,使评价维度更清晰、数据可读性更强、更符合当前袋式除尘器技术水平及发展趋势。修订后标准出口烟气含尘浓度指标值与超低排放看齐、比电耗固定指标值向动态等级转变,提升了本标准的灵活性、适应性以及与GB 37484-2019等相关标准的同步性。同时也推动企业从“只看排放”转向“排放与能耗并重”,解决过去“高耗能换低排放”的粗放模式问题。

6) 本次修订电袋复合除尘器能效等级标准,一是解决原标准适用范围较窄的问题,原标准主要针对燃煤电厂,难以覆盖钢铁、有色、建材等非电行业的应用场景,无法满足非电行业超低排放改造对除尘装备能效的评价需求。二是解决能效评价指标滞后问题,随着超低排放深入推广应用,以及超净电袋复合除尘技术的发展,原标准中出口烟气含尘浓度、压力降、比电耗等指标已无法反映当前技术水平。本次标准的修订,进一步完善了电袋复合除尘器能效等级的应用范围,进一步提高了出口排放等级要求,有利于提升电袋复合除尘器的整体行业水平,实现超低排放的国家环保政策,促进我国环保产业的健康快速发展。同时,契合“双碳”目标和绿色发展要求,有助于引导行业向高效、节能方向升级,为工业领域超低排放改造提供明确技术依据。

2.4 主要试验(或验证)情况

2.4.1 电除尘器能效等级

2.4.1.1 燃煤电厂电除尘器能效等级

2.4.1.1.1 燃煤电厂电除尘器比电耗调研

电除尘器比电耗是指电除尘器处理单位工况烟气量所消耗的电量。按公式(1)计算。

$$C = \frac{W}{Q} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

C ——电除尘器比电耗,单位为千瓦时每立方米($\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$);

W ——电除尘器单位时间电耗,单位为千瓦时每小时($\text{kW}\cdot\text{h}/\text{h}$);

Q ——电除尘器单位时间处理的烟气量(工况),单位为立方米每小时(m^3/h)。

(1) 300MW 级机组燃煤电厂干式电除尘器比电耗调研

被调研的300MW级机组燃煤电厂干式电除尘器32套,比电耗平均值为 0.67×10^{-3}

$\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ ，最大值为 $1.37\times 10^{-3} \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ ，最小值为 $0.25\times 10^{-3} \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ ，前 5%对应 $0.32\times 10^{-3} \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ ，前 20%对应 $0.41\times 10^{-3} \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ ，前 90%对应 $0.83\times 10^{-3} \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ ，见图 1。

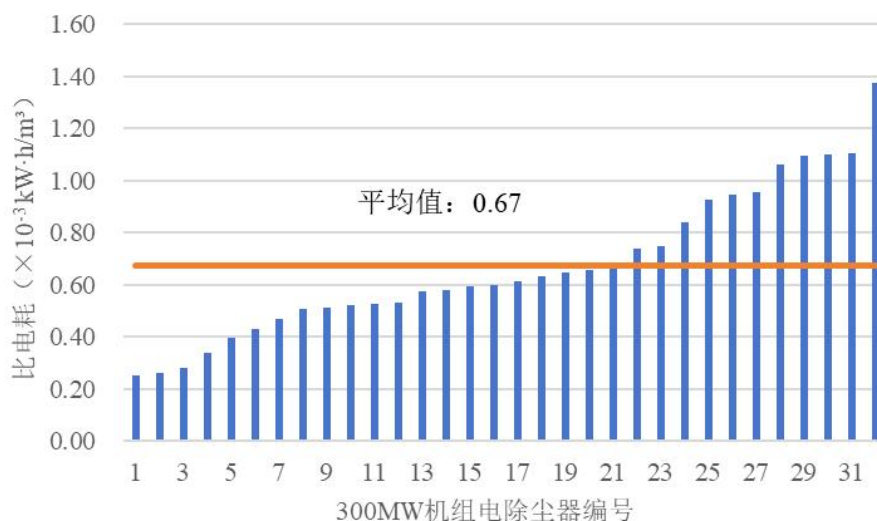


图 1 300MW 级机组电除尘器比电耗调研统计结果

(2) 600MW 级机组燃煤电厂干式电除尘器比电耗调研

被调研的 600MW 级机组燃煤电厂干式电除尘器 59 套，比电耗平均值为 $0.63\times 10^{-3} \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ ，最大值为 $1.33\times 10^{-3} \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ ，最小值为 $0.22\times 10^{-3} \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ ，前 5%对应 $0.30\times 10^{-3} \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ ，前 20%对应 $0.39\times 10^{-3} \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ ，前 90%对应 $0.79\times 10^{-3} \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ 见图 2。

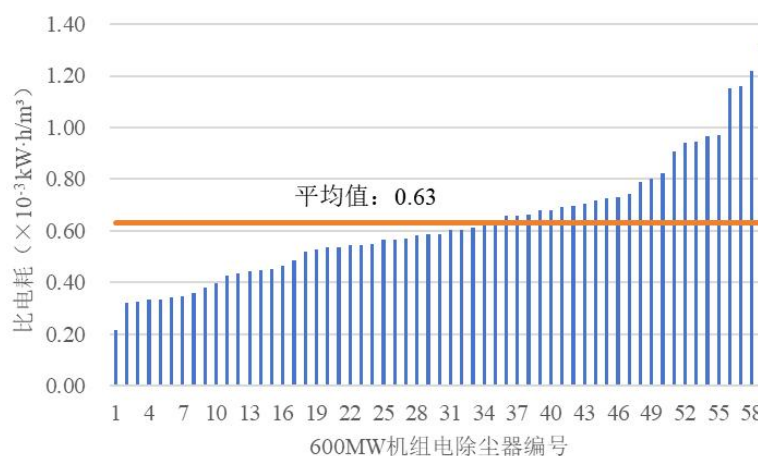


图 2 600MW 级机组燃煤电厂干式电除尘器比电耗调研统计结果

(3) 1000MW 级机组燃煤电厂干式电除尘器比电耗调研

被调研的 1000MW 级机组燃煤电厂干式电除尘器 47 套，比电耗平均值为 $0.60\times 10^{-3} \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ ，最大值为 $0.96\times 10^{-3} \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ ，最小值为 $0.34\times 10^{-3} \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ ，前 5%对应 $0.29\times 10^{-3} \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ ，前 20%对应 $0.38\times 10^{-3} \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ ，前 90%对应 $0.77\times 10^{-3} \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ ，见图 3。

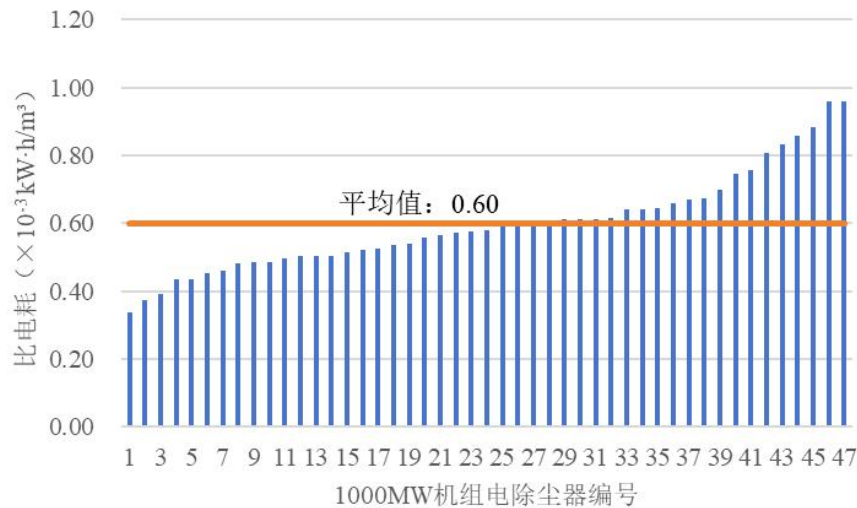


图 3 1000MW 级机组燃煤电厂干式电除尘器比电耗调研统计结果

燃煤电厂干式电除尘器能效等级分为 3 级，其中 1 级能效最高，相当于先进值和目标值，旨在为将来能效领跑者做支撑，满足要求的产品占比约为 5%；2 级为节能优秀机组的评价指标，旨在鼓励机组达到良好的节能水平，除 1 级能效外，仅满足 2 级能效要求的产品占比约为 15%；3 级为能效限定值，旨在淘汰或改造比电耗超过此值的高能耗现役电除尘产品，除 1 级和 2 级能效外，仅满足 3 级能效要求的产品占比约为 70%。综合考虑原标准 3 级能效限值相对已比较宽松，因此本次修订保持不变，避免减低电除尘产品的质量水平。在煤种除尘难易性为“一般”、燃煤电厂干式电除尘器入口烟气含尘浓度不大于 30 g/m^3 、出口烟气含尘浓度大于 15 mg/m^3 且不大于 20 mg/m^3 时，燃煤电厂干式电除尘器能效等级见表 1。

表 1 燃煤电厂干式电除尘器能效等级

能效等级	比电耗 ($\times 10^{-3} \text{ kW} \cdot \text{h/m}^3$)		
	300MW 级	600MW 级	1000MW 级
1	≤ 0.32	≤ 0.30	≤ 0.29
2	≤ 0.41	≤ 0.39	≤ 0.38
3	≤ 0.71	≤ 0.67	≤ 0.65

2.4.1.1.2 影响燃煤电厂干式电除尘器比电耗的主要因素

燃煤电厂干式电除尘器比电耗的影响因素十分复杂，不仅与机组容量、燃煤电厂干式电除尘器对煤种的除尘难易性、出口烟气含尘浓度、入口烟气含尘浓度等有关，还与高压电源型式及控制方式和运行条件有关，且不同燃煤电厂干式电除尘器制造厂家采用的结构型式和技术水平存有差异也将直接影响燃煤电厂干式电除尘器的比电耗。

(1) 机组容量对燃煤电厂干式电除尘器比电耗的影响

国务院出台的《关于加快关停小火电机组若干意见的通知》中提出了“上大压小”要求，将新建项目与关停小火电机组挂钩，在建设大容量、高参数、低能耗、低排放机组的

同时，相对应地关停一部分小火电机组，其主要目的是降低能源消耗，减少污染物排放。相对于小容量机组，大容量机组单位耗煤量和排污量较小，处理单位烟气量所需的电耗较低，因此，大容量机组的比电耗较低。

(2) 煤种除尘难易性对燃煤电厂干式电除尘器比电耗的影响

燃煤电厂干式电除尘器对煤种的除尘难易性是指，在给定的煤、飞灰及烟气成分、烟气温度、飞灰粒度等条件下，燃煤电厂干式电除尘器达到性能指标的难易程度。参考国家标准《电除尘器》(GB/T 40514-2021) 附录 D (资料性附录) 燃煤电厂电除尘器对煤种的除尘难易性评价方法的描述，详见表 2。

表 2 燃煤电厂干式电除尘器对煤种的除尘难易性评价方法

除尘难易性	煤、飞灰主要成分重量百分比含量所满足的条件 (满足其中一条即可)
较易	a) $\text{Na}_2\text{O} > 0.3\%$, 且 $S_{\text{ar}} \geq 1\%$, 且 $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2) \leq 80\%$, 同时 $\text{Al}_2\text{O}_3 \leq 40\%$; b) $\text{Na}_2\text{O} > 1\%$, 且 $S_{\text{ar}} > 0.3\%$, 且 $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2) \leq 80\%$, 同时 $\text{Al}_2\text{O}_3 \leq 40\%$; c) $\text{Na}_2\text{O} > 0.4\%$, 且 $S_{\text{ar}} > 0.4\%$, 且 $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2) \leq 80\%$, 同时 $\text{Al}_2\text{O}_3 \leq 40\%$; d) $\text{Na}_2\text{O} \geq 0.4\%$, 且 $S_{\text{ar}} > 1\%$, 且 $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2) \leq 90\%$, 同时 $\text{Al}_2\text{O}_3 \leq 40\%$; e) $\text{Na}_2\text{O} > 1\%$, 且 $S_{\text{ar}} > 0.4\%$, 且 $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2) \leq 90\%$, 同时 $\text{Al}_2\text{O}_3 \leq 40\%$ 。
一般	a) $\text{Na}_2\text{O} \geq 1\%$, 且 $S_{\text{ar}} \leq 0.45\%$, 且 $85\% \leq (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2) \leq 90\%$, 同时 $\text{Al}_2\text{O}_3 \leq 40\%$; b) $0.1\% < \text{Na}_2\text{O} < 0.4\%$, 且 $S_{\text{ar}} \geq 1\%$, 且 $85\% \leq (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2) \leq 90\%$, 同时 $\text{Al}_2\text{O}_3 \leq 40\%$; c) $0.4\% < \text{Na}_2\text{O} < 0.8\%$, 且 $0.45\% < S_{\text{ar}} < 0.9\%$, 且 $80\% \leq (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2) \leq 90\%$, 同时 $\text{Al}_2\text{O}_3 \leq 40\%$; d) $0.3\% < \text{Na}_2\text{O} < 0.7\%$, 且 $0.1\% < S_{\text{ar}} < 0.3\%$, 且 $80\% \leq (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2) \leq 90\%$, 同时 $\text{Al}_2\text{O}_3 \leq 40\%$ 。
较难	a) $\text{Na}_2\text{O} \leq 0.2\%$, 且 $S_{\text{ar}} \leq 1.4\%$, 同时 $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2) \geq 75\%$; b) $\text{Na}_2\text{O} \leq 0.4\%$, 且 $S_{\text{ar}} \leq 1\%$, 同时 $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2) \geq 90\%$; c) $\text{Na}_2\text{O} < 0.4\%$, 且 $S_{\text{ar}} < 0.6\%$, 同时 $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2) \geq 80\%$ 。

燃煤电厂干式电除尘器的电耗水平与其性能密切相关，而影响燃煤电厂干式电除尘器性能的因素很复杂，对燃煤电厂而言，首先是工况条件，包括燃煤性质（成分、挥发分、发热量、灰熔融性等）、飞灰性质（成分、粒径、密度、比电阻、粘附性等）、烟气性质（温度、湿度、烟气成分等）等；其次是燃煤电厂干式电除尘器的技术状况，包括结构形式、极配型式、同极间距、电场划分、气流分布的均匀性、振打方式及振打力大小及其分布（清灰方式及效能）、制造及安装质量以及电气控制特性等；第三则是运行条件，包括操作电压、板电流密度、积灰情况、振打（清灰）周期等；此外，还存在着诸如飞灰物相组份、显微结构（灰粒形状，孔隙率及孔隙结构，表面状况）、浸润性等方面对燃煤电厂干式电除尘器性能的影响。在上述影响燃煤电厂干式电除尘器电耗因素中工况条件为主要影响

因素，其中煤、飞灰成分对燃煤电厂干式电除尘器性能的影响最大。在达到相同除尘效率前提下，煤质越差，所需比集尘面积越大，即所需燃煤电厂干式电除尘器容量越大，比电耗也越大，例如，当燃煤电厂干式电除尘器出口烟气含尘浓度限值为 $30\text{mg}/\text{m}^3$ 时，对除尘难易性为“较易”的煤种，燃煤电厂干式电除尘器所需比集尘面积约为 $130\text{m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$ ；对除尘难易性为“一般”的煤种，燃煤电厂干式电除尘器的容量约需增加 10%；对除尘难易性为“较难”的煤种，燃煤电厂干式电除尘器的容量还约需增加 10%。根据燃煤电厂干式电除尘器所需比集尘面积及电场数，本标准将煤种的除尘难易性对燃煤电厂干式电除尘器比电耗的影响给出了修正系数。

(3) 出口烟气含尘浓度要求对燃煤电厂干式电除尘器比电耗的影响

燃煤电厂干式电除尘器所有的节能运行方式均须保证烟尘排放浓度控制在超低排放政策要求的烟尘排放浓度范围内，有的甚至要实现超低排放的要求。在其它条件相同的情况下，出口烟气含尘浓度限值越低，所需的燃煤电厂干式电除尘器容量越大，比电耗越大。例如，对于燃煤电厂干式电除尘器对煤种的除尘难易性为“较易”的煤种，当燃煤电厂干式电除尘器出口烟气含尘浓度限值为 $30\text{mg}/\text{m}^3$ 时，所需比集尘面积约为 $130\text{m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$ ；当燃煤电厂干式电除尘器出口烟气含尘浓度限值 $20\text{mg}/\text{m}^3$ 时，燃煤电厂干式电除尘器的容量约需增加 20%；如果燃煤电厂干式电除尘器出口烟气含尘浓度限值要达到 $15\text{mg}/\text{m}^3$ 时，燃煤电厂干式电除尘器的容量还约需增加 20%。结合电除尘行业多年的电除尘器选型设计经验及《电除尘器选型设计指导书》，在煤种除尘难易性评价相同的前提下，本标准将出口烟气含尘浓度要求对燃煤电厂干式电除尘器比电耗的影响给出了修正系数。

值得注意的是，标准所要求的烟尘排放浓度指的是烟囱排放，而不是燃煤电厂干式电除尘器的出口烟气含尘浓度，除尘设备的出口烟气含尘浓度值，应根据烟尘排放标准及湿法脱硫的综合除尘效率确定，湿法脱硫具有 80% 以上的综合除尘效率。因此，在其它条件相同的情况下，湿法脱硫的综合除尘效率越高，燃煤电厂干式电除尘器的容量可减小，其所需比电耗也越小。

(4) 入口烟气含尘浓度对燃煤电厂干式电除尘器比电耗的影响

对于同一机组，在相同煤种条件下，要达到相同的出口烟气含尘浓度要求，燃煤电厂干式电除尘器入口烟气含尘浓度越高，所需的电除尘器容量越大，电除尘器比电耗越大。因此，应对电除尘器入口烟气含尘浓度作出修正。根据实际工程经验，将入口烟气含尘浓度修正的界限规定为 $30\text{g}/\text{m}^3$ 。

(5) 其他影响因素

燃煤电厂干式电除尘器高压电源形式有很多，按工作频率分类，高压电源可分为工频高压电源、中频高压电源、高频高压电源；按电源输入形式分类，可分为单相电源输入的高压电源和三相输入的高压电源；按输出形式分类，可分为直流高压电源和脉冲高压电源。电源控制方式主要指其高压、低压电源供电的控制方式，其中高压供电控制方式主要有：火花自动跟踪、少火花、恒定火花、最高平均电压、间歇供电等；低压供电控制主要有：振打周期、降压振打和电加热等。实际工程中，采用哪种高压电源以及控制方式更适合，

则需结合电除尘器的本体设备情况并针对具体运行条件（燃煤、烟气、烟尘特性和锅炉负荷等）进行优化调整试验，才能科学、准确地确定。

研究表明，在出口烟尘排放浓度达标的前提下，不同的电源形式或通过合理调整燃煤电厂干式电除尘器高低压电源的供电控制方式，电除尘器节能效果一般可达 50%左右；相关节能优化试验表明，在一定条件下高压电源节能最高可达 80%以上。

电源形式、控制方式等其他影响因素，对燃煤电厂干式电除尘器比电耗无需修正或无法修正，故本标准仅对机组容量、燃煤电厂干式电除尘器对煤种的除尘难易性、出口烟气含尘浓度和入口烟气含尘浓度对燃煤电厂干式电除尘器比电耗的影响作了修正。

2.4.1.1.3 燃煤电厂干式电除尘器比电耗修正系数

（1）燃煤电厂干式电除尘器对煤种的除尘难易性对应的比电耗修正系数

本标准将燃煤电厂干式电除尘器对煤种的除尘难易性分为“较易”、“一般”和“较难”，其对应的比电耗修正系数 K_1 ，见表 3。

表 3 燃煤电厂干式电除尘器对煤种的除尘难易性对应的比电耗修正系数

煤种的除尘难易性	较易	一般	较难
K_1	0.9	1.0	1.1

（2）燃煤电厂干式电除尘器出口烟气含尘浓度对应的比电耗修正系数

燃煤电厂干式电除尘器出口烟气含尘浓度分别为 20 mg/m³ 至 30 mg/m³、15 mg/m³ 至 20 mg/m³、不大于 15 mg/m³ 时，其对应的比电耗修正系数 K_2 ，见表 4。

表 4 燃煤电厂干式电除尘器出口烟气含尘浓度对应比电耗修正系数

出口烟气含尘浓度 c_{out} (mg/m ³)	$20 < c_{out} \leq 30$	$15 < c_{out} \leq 20$	$c_{out} \leq 15$
K_2	0.8	1.0	1.2

（3）燃煤电厂干式电除尘器入口烟气含尘浓度对应的比电耗修正系数

燃煤电厂干式电除尘器入口烟气含尘浓度不大于 30g/m³ 时、大于 30g/m³ 时，其对应的比电耗修正系数 K_3 ，见表 5。

表 5 燃煤电厂干式电除尘器入口烟气含尘浓度对应比电耗修正系数

入口烟气含尘浓度 c_{in} (g/m ³)	$c_{in} \leq 30$	$c_{in} > 30$
K_3	1.0	1.1

2.4.1.1.4 燃煤电厂干式电除尘器能效等级的分析

需要特别说明的是，为了修订国家标准《除尘器能效限定值及能效等级》（GB37484-2019），编制组调研了国内主要的电除尘器本体厂家和测试单位提供的 138 台套电除尘器

的高低电压单位时间电耗，其中制造厂家包括浙江菲达环保科技股份有限公司、兰州电力修造有限公司、福建龙净环保股份有限公司、浙江天洁环境科技股份有限公司；测试单位包括国电环境保护研究院有限公司、西安热工研究院、华电电力科学研究院有限公司、国网浙江省电力有限公司电力科学研究院，涉及国内业绩广泛的本体厂家和权威性的测试单位，提供的数据能代表国内整体的燃煤电厂干式电除尘器运行情况。被调研的机组容量涉及300MW~1050MW，其中300MW级机组32套，600MW级机组59套，1000MW级机组47套，选取的样本数据全部为超低排放之后的燃煤电厂干式电除尘器能效数据。

将本次调研所得138套燃煤电厂干式电除尘样本数据比对GB 37484-2019，结果见图4，符合1级能效3台，占比2.2%；除1级能效外，仅满足2级能效要求的6台，占比4.3%；除1级和2级能效外，仅满足合3级能效要求的99台，占比71.7%；超3级能效及淘汰机组30台，占比21.7%。较5%、15%、70%的比例要求差距较大，从调研结果来看，利用现行标准中的各级能效限定指标考核超低排放后的电除尘器已经不太妥当。

国家标准《除尘器能效限定值及能效等级》（GB37484-2019）于2019年4月发布，迄今已近6年，电除尘器电耗和比电耗增加主要原因如下：

（1）排放要求趋严是造成电除尘器比电耗增加主要原因。由于超低排放政策的实施，特别是部分地区要求电除尘器具有更低的出口含尘浓度，电除尘器的容量进一步增加，电耗增加。电除尘器的比集尘面积更大，配套电源容量增加，高低压设备电耗增加值约25%，但压力降保持不变，而压力降所产生的电耗约占总电耗的10%，在烟气量不变的情况下，电除尘器实际比电耗增加约22%。

（2）燃煤电厂煤种复杂多变及灵活调峰是造成电除尘器比电耗增加的重要原因。电厂燃煤特性波动显著，劣质煤掺烧已成为常态，与设计值偏离大，导致电除尘器除尘性能下降，运行电耗相应增加。同时，脱硝系统及低温省煤器运行稳定性不足，故障频发，进一步增大了电除尘器的除尘负担，比电耗增加。受到机组调峰影响，低负荷运行状态增加，烟气量减少，而电除尘器目前尚不能精准降低电耗，造成比电耗增加。

（3）低低温电除尘技术的广泛应用对电除尘器比电耗增加有一定影响。与常规电除尘器相比，低低温电除尘技术是将烟气温度降低至90℃左右，降低电除尘器入口烟气温度至酸露点以下，使粉尘性质发生了很大变化，降低粉尘比电阻，避免反电晕现象，大幅提高除尘效率。常规电除尘器板电流密度0.2 mA/m²~0.5 mA/m²，低低温电除尘器板电流密度0.22mA/m²~0.55 mA/m²，板电流密度变化不大。低低温电除尘器的使用，由于增加了二次电流和二次电压，电耗有所增加，同时，低低温电除尘烟气入口温度降低，会使工况烟气流量降低10%左右，比电耗增加，但达到相同的除尘效率，可以减少比集尘面积，这间接减少了比电耗，因此，低低温电除尘技术会一定程度增加电除尘器比电耗，但增加值有限。

另外，新型电源及控制技术可有效降低电除尘器运行比电耗。电除尘器电耗是燃煤电厂厂用电的重要组成部分，为响应国家节能降耗的号召，将采取脉冲电源等高效低能耗智能供电控制、有效的设备维护和运行调整等措施降低电除尘器比电耗。

综上所述，在修订标准中将干式电除尘器的1级和2级能效指标较现行标准增加约20%

是合适的。

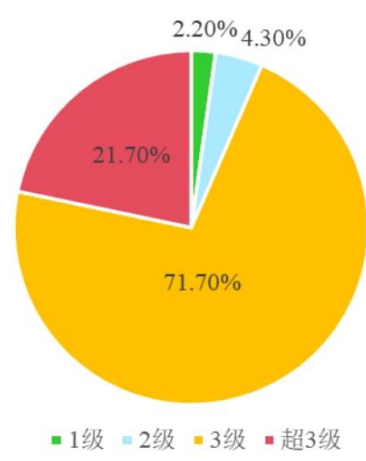


图 4 燃煤电厂干式电除尘器各能效等级划分占比

2. 4. 1. 1. 5 燃煤电厂干式电除尘器能效等级的确定

根据标准制定的要求，电除尘器能效等级分为3级，其中1级能效最高，相当于先进值和目标值，旨在为将来能效领跑者做支撑，满足要求的产品占比约为5%；2级为节能优秀机组的评价指标，旨在鼓励机组达到良好的节能水平，满足要求的产品占比约为20%；3级为能效限定值，旨在淘汰或改造比电耗超过此值的高能耗现役电除尘产品，满足要求的产品占比约为90%。

（1）3 级能效等级的确定

本标准规定 3 级能效等级燃煤电厂干式电除尘器的比电耗值为能效限定值，确定能效限定值，意在淘汰或改造比电耗超过此值的高能耗现役燃煤电厂干式电除尘产品。根据我国国情，淘汰或改造的产品比例应控制在 10%左右。原标准 3 级能效限值相对已比较宽松，因此本次修订保持不变，避免减低电除尘产品的质量水平。

煤种除尘难易性为“一般”、燃煤电厂干式电除尘器入口烟气含尘浓度不大于 30g/m³时，3 级能效等级燃煤电厂干式电除尘器比电耗的值即能效限定值如表 6 所示。

表 6 3 级能效等级燃煤电厂干式电除尘器比电耗

出口烟气含尘浓度 c_{out} (mg/m ³)	3 级能效等级燃煤电厂干式电除尘器比电耗 (×10 ⁻³ kW·h/m ³)		
	300MW 级	600MW 级	1000MW 级
$20 < c_{out} \leq 30$	0.59	0.56	0.54
$15 < c_{out} \leq 20$	0.71	0.67	0.65
$c_{out} \leq 15$	0.82	0.78	0.76

当煤种除尘难易性为“较易”或“较难”时，3 级能效等级燃煤电厂干式电除尘器比电耗应分别乘以 0.9 或 1.1 的修正系数；当燃煤电厂干式电除尘器入口烟气含尘浓度大于 30g/m³时，

3 级能效等级燃煤电厂干式电除尘器比电耗应乘以 1.1 的修正系数。

(2) 2 级能效等级的确定

2 级能效等级燃煤电厂干式电除尘器的单位时间电耗，应达到国内先进水平，在现役机组燃煤电厂干式电除尘器中的比例应控制在 15% 左右。

根据燃煤电厂干式电除尘器比电耗修正系数，可计算不同机组容量、不同煤种除尘难易性、不同出口烟气含尘浓度及不同入口烟气含尘浓度时 2 级能效等级电除尘器比电耗。

同理，煤种除尘难易性为“一般”、燃煤电厂干式电除尘器入口烟气含尘浓度不大于 $30\text{g}/\text{m}^3$ 时，2 级能效等级燃煤电厂干式电除尘器比电耗的值见表 7。

表 7 2 级能效等级燃煤电厂干式电除尘器比电耗

出口烟气含尘浓度 c_{out} (mg/m^3)	2 级能效等级燃煤电厂干式电除尘器比电耗 ($\times 10^{-3}\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$)		
	300MW 级	600MW 级	1000MW 级
$20 < c_{out} \leq 30$	0.33	0.31	0.30
$15 < c_{out} \leq 20$	0.41	0.39	0.38
$c_{out} \leq 15$	0.49	0.47	0.45

当煤种除尘难易性为“较易”或“较难”时，2 级能效等级燃煤电厂干式电除尘器比电耗应分别乘以 0.9 或 1.1 的修正系数；当燃煤电厂干式电除尘器入口烟气含尘浓度大于 $30\text{g}/\text{m}^3$ 时，2 级能效等级燃煤电厂干式电除尘器比电耗应乘以 1.1 的修正系数。

(3) 1 级能效等级的确定

1 级能效等级燃煤电厂干式电除尘器的单位时间电耗，相当于先进值和目标值，在现役机组燃煤电厂干式电除尘器中的比例应控制在 5% 左右。

基于 2 级能效等级燃煤电厂干式电除尘器比电耗的数据，考虑到 1 级能效等级的先进性，以及“占比约为 5%”的指标要求，并结合调研数据的特点，确定达到 1 级能效等级的 300 MW 级、600 MW 级、1000 MW 级机组燃煤电厂干式电除尘器的比电耗应分别不高于 $0.25 \times 10^{-3}\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ 、 $0.24 \times 10^{-3}\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ 、 $0.23 \times 10^{-3}\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ 。

根据燃煤电厂干式电除尘器比电耗修正系数，可计算不同机组容量、不同煤种除尘难易性、不同出口烟气含尘浓度及不同入口烟气含尘浓度时 1 级能效等级燃煤电厂干式电除尘器比电耗。

同理，煤种除尘难易性为“一般”、燃煤电厂干式电除尘器入口烟气含尘浓度不大于 $30\text{g}/\text{m}^3$ 时，1 级能效等级燃煤电厂干式电除尘器比电耗如表 8 所示。

表 8 1 级能效等级燃煤电厂干式电除尘器比电耗

出口烟气含尘浓度 c_{out} (mg/m^3)	1 级能效等级燃煤电厂干式电除尘器比电耗 ($\times 10^{-3}\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$)		
	300MW 级	600MW 级	1000MW 级

$20 < c_{out} \leq 30$	0.25	0.24	0.23
$15 < c_{out} \leq 20$	0.32	0.30	0.29
$c_{out} \leq 15$	0.38	0.36	0.35

当煤种除尘难易性为“较易”或“较难”时，1级能效等级燃煤电厂干式电除尘器比电耗应分别乘以 0.9 或 1.1 的修正系数；当燃煤电厂干式电除尘器入口烟气含尘浓度大于 30 g/m^3 时，1 级能效等级燃煤电厂干式电除尘器比电耗应乘以 1.1 的修正系数。

(4) 小结

当煤种除尘难易性为“较易”或“较难”时，比电耗值应分别乘以 0.9 或 1.1 的修正系数；当燃煤电厂干式电除尘器入口烟气含尘浓度大于 30 g/m^3 时，比电耗值应乘以 1.1 的修正系数；当燃煤电厂干式电除尘器出口烟气含尘浓度大于 20 mg/m^3 且不大于 30 mg/m^3 时，比电耗值应乘以 0.8 的修正系数；当燃煤电厂干式电除尘器出口烟气含尘浓度不大于 15 mg/m^3 时，比电耗值应乘以 1.2 的修正系数，燃煤电厂干式电除尘器的能效等级见表 9。

表 9 修订后燃煤电厂干式电除尘器能效等级

能效等级	出口烟气含尘浓度 c_{out} (mg/m^3)	比电耗 ($\times 10^{-3} \text{ kW} \cdot \text{h/m}^3$)		
		300MW 级	600MW 级	1000MW 级
1	$20 < c_{out} \leq 30$	0.25	0.24	0.23
	$15 < c_{out} \leq 20$	0.32	0.30	0.29
	$c_{out} \leq 15$	0.38	0.36	0.35
2	$20 < c_{out} \leq 30$	0.33	0.31	0.30
	$15 < c_{out} \leq 20$	0.41	0.39	0.38
	$c_{out} \leq 15$	0.49	0.47	0.45
3	$20 < c_{out} \leq 30$	0.59	0.56	0.54
	$15 < c_{out} \leq 20$	0.71	0.67	0.65
	$c_{out} \leq 15$	0.82	0.78	0.76

按照表 9 的要求进行能效等级划分。其中 1 级能效 8 台，占比 5.8%；除 1 级能效外，仅满足 2 级能效要求 15 台，占比 10.9%；除 1 级和 2 级能效外，仅满足 3 级能效要求 85 台，占比 61.6%；超 3 级能效及淘汰机组 30 台，占比 21.7%。

以能效等级 1 级、 $15 \text{ mg/m}^3 < \text{出口烟气含尘浓度} \leq 20 \text{ mg/m}^3$ 为例，与现行标准《除尘器能效限定值及能效等级》（GB 37484-2019）相比，300MW 机组能效限定值要求降低 18.5%、600MW 机组能效等级要求降低 15.4%、1000MW 机组能效等级要求降低 16.0%；以能效等级 2 级、 $15 \text{ mg/m}^3 < \text{出口烟气含尘浓度} \leq 20 \text{ mg/m}^3$ 为例，与现行标准相比，300MW 机组能效等级要求降低 20.6%、600MW 机组能效等级要求降低 21.9%、1000MW 机组能效等级要求降低 22.6%。结果与 3.1.4 燃煤电厂干式电除尘器能效等级的分析章节中原因分析得出来结果相近。

2.4.1.2 烧结机头干式电除尘器能效等级

2.4.1.2.1 烧结机头干式电除尘器比电耗调研

编制组调研了国内主要的 6 家大型烧结机头干式电除尘器厂家提供的超低排放改造后 64 台套烧结机头干式电除尘器的高低压单位时间电耗以及阻力电耗，厂家包括浙江菲达环保科技股份有限公司、福建龙净环保股份有限公司、北京力博明科技发展有限公司、宣化昌通环保设备有限公司、宣化冶金环保设备制造（安装）有限责任公司、厦门绿洋环境技术股份有限公司。包含国内业绩广泛的本体厂家，提供的数据能代表国内整体的钢铁行业烧结机头电除尘器运行情况。被调研的烧结机头面积涉及 80~675m²，烧结机头干式电除尘器电耗和比电耗参照燃煤电厂干式电除尘器计算。

（1）大型烧结机头干式电除尘器比电耗调研

被调研的大型烧结机头干式电除尘器 22 套，比电耗平均值为 $0.61 \times 10^{-3} \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ ，最大值为 $0.92 \times 10^{-3} \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ ，最小值为 $0.30 \times 10^{-3} \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ ，前 5% 对应 $0.35 \times 10^{-3} \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ ，前 20% 对应 $0.46 \times 10^{-3} \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ ，前 90% 对应 $0.80 \times 10^{-3} \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ ，见图 5。

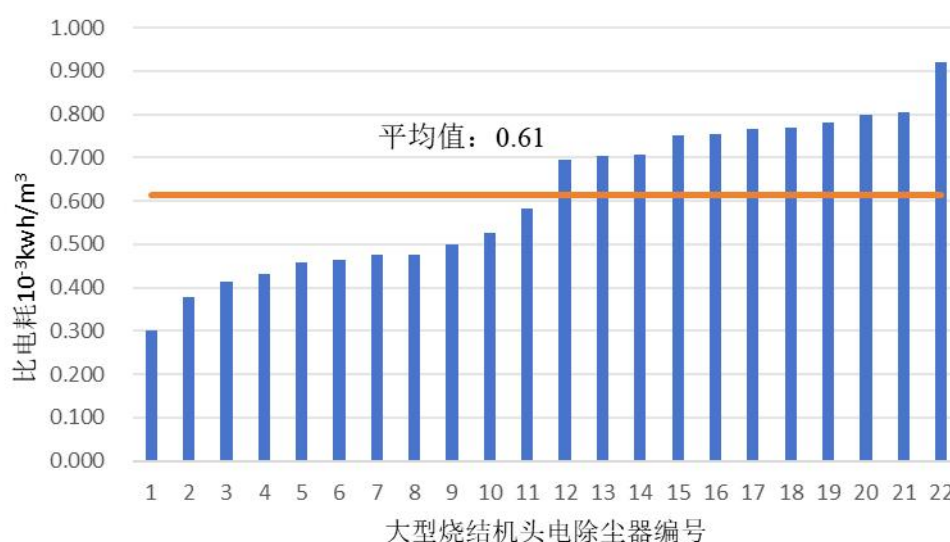


图 5 大型烧结机头电除尘器比电耗

（2）中小型烧结机头干式电除尘器比电耗调研

被调研的中小型烧结机头干式电除尘器 42 套，其中 1 套数据异常，因此不将其考虑在内，所调研 41 套数据比电耗平均值为 $0.80 \times 10^{-3} \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ ，最大值为 $1.07 \times 10^{-3} \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ ，最小值为 $0.43 \times 10^{-3} \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ ，前 5% 对应 $0.46 \times 10^{-3} \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ ，前 20% 对应 $0.60 \times 10^{-3} \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ ，前 90% 对应 $1.04 \times 10^{-3} \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ ，见图 6。

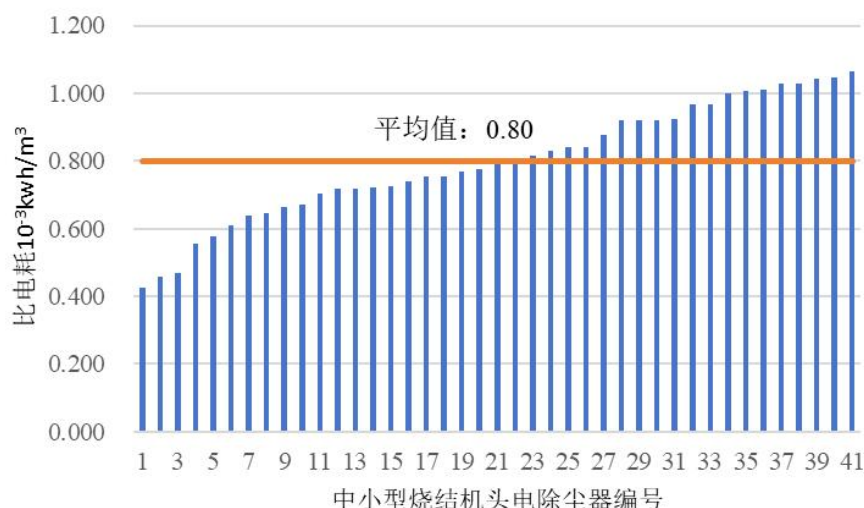


图 6 中小型烧结机头电除尘器比电耗

2.4.1.2.2 烧结机头干式电除尘器比电耗修正系数

参考行业标准《钢铁工业烧结废气超低排放治理工程技术规范》(HJ 1408-2024) 中 6.2 超低排放技术路线选择章节中 6.2.1.2 除尘工艺路线, 一次除尘宜选择干式电除尘, 出口颗粒物浓度应按不大于 30 mg/m^3 进行设计; 对于受工程条件限制的烧结机, 一次除尘出口颗粒物浓度也可按不大于 50 mg/m^3 设计。结合超低排放的要求, 本标准中将烧结机头干式电除尘器能效等级按照出口浓度分为不大于 30 mg/m^3 以及 $30 \text{ mg/m}^3 < \text{出口浓度} \leq 40 \text{ mg/m}^3$ 。烧结机头干式电除尘器出口烟气含尘浓度分别为不大于 30 mg/m^3 以及 $30 \text{ mg/m}^3 < \text{出口浓度} \leq 40 \text{ mg/m}^3$ 时, 其对应的比电耗修正系数 K , 见表 10。

表 10 烧结机头干式电除尘器出口烟气含尘浓度对应比电耗修正系数

出口烟气含尘浓度 c_{out} (mg/m^3)	≤ 30	$30 < c_{\text{out}} \leq 40$
K	1.2	1.0

2.4.1.2.3 烧结机头干式电除尘器能效等级的确定

根据数据调研结果, 烧结机头干式电除尘器能效等级见表 11。根据表 11, 所调研的烧结机头干式电除尘器符合 1 级能效占比 4.8%, 除 1 级能效外, 仅满足 2 级能效要求占比 15.9%, 除 1 级和 2 级能效外, 仅满足 3 级能效占比 71.4%, 超 3 级能效占比 7.9%。

表 11 烧结机头干式电除尘器能效指标

能效等级	出口烟气含尘浓度 c_{out} (mg/m^3)	比电耗 ($\times 10^{-3} \text{ kW} \cdot \text{h/m}^3$)	
		烧结机头面积 $\geq 360 \text{ m}^2$	烧结机头面积 $< 360 \text{ m}^2$
1	$30 < c_{\text{out}} \leq 40$	0.35	0.46
	$c_{\text{out}} \leq 30$	0.42	0.55
2	$30 < c_{\text{out}} \leq 40$	0.46	0.60

	$c_{out} \leq 30$	0.55	0.72
3	$30 < c_{out} \leq 40$	0.80	1.04
	$c_{out} \leq 30$	0.96	1.25

根据烧结烟气特性，电除尘器多采用大于等于 450mm 的同极间距，工况条件决定了电除尘器的起晕电压较燃煤电厂高很多，运行的二次电压一般不小于 60KV，烧结机头烟气成份复杂，工况多变，不利于收尘，一般不采用节能运行方式，因此，烧结机头电除尘器比电耗较燃煤电厂电除尘器高很多。

2.4.1.3 湿式电除尘器能效等级

2.4.1.3.1 湿式电除尘器比电耗调研

编制组调研了国内最大的燃煤电厂湿式电除尘器 4 家本体厂家和最权威的 4 家测试单位提供的超低排放改造后 135 套燃煤电厂湿式电除尘器的比电耗，分为 65 套导电玻璃钢湿式电除尘器和 70 套金属板湿式电除尘器。其中 300MW 以下 22 套，300MW 级 51 套，600MW 级 44 套，1000MW 级 18 套。其中本体厂家包括浙江菲达环保科技股份有限公司、福建龙净环保股份有限公司、浙江天洁环境科技股份有限公司、浙江德创环保科技股份有限公司；测试单位包括国电环境保护研究院有限公司、西安热工研究院、华电电力科学研究院有限公司、国网浙江省电力有限公司电力科学研究院。包含国内业绩广泛的本体厂家和权威性的测试单位，提供的数据能代表国内整体的湿式电除尘器运行情况。根据调研结果以及参考国家标准《高效能大气污染物控制装备评价技术要求 第 6 部分：湿式电除尘器》（GB/T 33017.6-2024），两种类型湿式电除尘器比电耗评价指标调研值相差不大，因此将其一起考虑。由于超低排放以后，湿式电除尘器出口浓度普遍低于 5 mg/m^3 ，故在提出能效等级时不将出口浓度作为影响因素考虑；另外由于湿式电除尘器温度较低，除尘效率相对较低，容量比较小，国内湿式电除尘器基本只存在一个电场，因此也未将机组容量作为影响因素考虑在内。钢铁行业湿式电除尘器可参照燃煤电厂。

被调研的湿式电除尘器 135 套，其中有一套数据存在异常，因此调研数据总计 134 套，比电耗平均值为 $0.16 \times 10^{-3} \text{ kW} \cdot \text{h/m}^3$ ，最大值为 $0.44 \times 10^{-3} \text{ kW} \cdot \text{h/m}^3$ ，最小值为 $0.02 \times 10^{-3} \text{ kW} \cdot \text{h/m}^3$ ，前 5% 对应 $0.06 \times 10^{-3} \text{ kW} \cdot \text{h/m}^3$ ，前 20% 对应 $0.10 \times 10^{-3} \text{ kW} \cdot \text{h/m}^3$ ，前 90% 对应 $0.32 \times 10^{-3} \text{ kW} \cdot \text{h/m}^3$ ，见图 7。

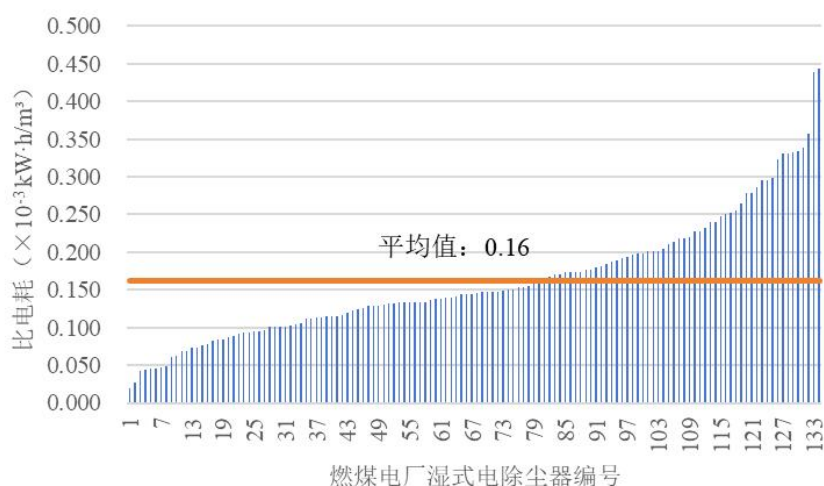


图 7 湿式电除尘器比电耗

2. 4. 1. 3. 2 湿式电除尘器能效等级的确定

根据数据调研结果，按照 1 级能效占比约为 5%；2 级能效占比约为 15%；3 级能效占比约为 70%的要求，湿式电除尘器能效等级见表 12。当除尘效率大于 80%时，根据《电除尘器》（GB/T 40514）要求，湿式电除尘器一般需配置 2 个电场，因此，比电耗应分别乘以 1.3。根据表 12 所调研的湿式电除尘器符合 1 级能效占比 6.7%，除 1 级能效外，仅满足 2 级能效要求占比 14.8%，除 1 级和 2 级能效外，仅满足 3 级能效占比 71.5%，超 3 级能效占比 6.7%。

表 12 湿式电除尘器能效等级

能效等级	比电耗 ($\times 10^{-3} \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$)
1	0.06
2	0.10
3	0.32

结合国家标准《高效能大气污染物控制装备评价技术要求 第 6 部分：湿式电除尘器》（GB/T 33017.6-2024），参考高效能湿式电除尘器比电耗指标不应大于 $0.13 \times 10^{-3} \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ 的参数，综合考虑拟将 2 级能效限定值定为 $0.12 \times 10^{-3} \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ ，见表 13。

根据表 13，所调研的湿式电除尘器符合 1 级能效占比 6.7%；除 1 级能效外，仅满足 2 级能效要求占比 25.2%；除 1 级和 2 级能效外，仅满足 3 级能效占比 60.7%，超 3 级能效占比 7.4%。

表 13 湿式电除尘器能效等级（调整）

能效等级	比电耗 ($\times 10^{-3} \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$)
1	0.06

2	0.12
3	0.32

尽管湿式电除尘器的排放浓度均不大于 $5\text{mg}/\text{m}^3$ ，但其除尘效率要求一般为 $75\%\sim 80\%$ ，电场数量多为一个，因此，比电耗较干式电除尘器低很多。

2.4.2 袋式除尘器能效等级

2.4.2.1 袋式除尘器出口烟气含尘浓度的调研验证

袋式除尘器是国内烟尘治理的主流设备之一，广泛应用于钢铁冶金、燃煤锅炉、工业窑炉、建材、粮油、机械电子、轻工化工、有色金属等行业的烟尘治理和物料回收。不同行业对固体颗粒物排放浓度要求不同，如表1所示。

表1 国内不同行业污染物排放标准中对固体颗粒物排放浓度限制要求

行业	工艺、工序或设备	颗粒物浓度 (mg/m^3)	标准号
火电厂	燃煤锅炉	30	GB 13223-2011
工业锅炉	燃煤锅炉	50	GB 13271-2014
平板玻璃工业	玻璃熔窑	50	GB 26453-2011
	在线镀膜尾气处理系统	30	
	配料、碎玻璃等其他通风生产设备	30	
烧结	烧结机、球团焙烧设备	50	GB 28662-2012
球团	烧结机机尾、带式焙烧机机尾、其他生产设备	30	
炼铁	热风炉	20	GB 28663-2012
	原料系统、煤粉系统、高炉出铁场等	25	
炼钢	转炉（一次烟气）	50	GB 28664-2012
	铁水预处理、转炉（二次烟气）、电炉、精炼炉	20	
	连铸切割及火焰清理、石灰窑、白云石窑焙烧	30	GB 28664-2012
	钢渣处理	100	
轧钢	热轧精轧机	30	GB 28665-2012
	废酸再生	30	
	热处理炉	20	
铁合金	半封闭炉、敞口炉、精炼炉	50	GB 28666-2012
水泥	破碎机及其他通风生产设备	20	GB 4915-2013
	水泥仓及其他通风生产设备	20	

	水泥窑及窑尾预热利用系统	30	
	烘干机、烘干磨、煤磨及冷却机	30	
	破碎机、磨机、包装机及其它通风生产设备	20	
危险废物焚烧	1h均值	30	GB 18484-2020
	24h均值	20	
生活垃圾焚烧	1h均值	30	GB 18485-2014
	24h均值	20	

再者相关产品行业标准，比如《旋转喷吹袋式除尘器》（DL/T 1826-2018）出口粉尘浓度限值为 $<20\text{mg}/\text{m}^3$ ，《脉冲喷吹类袋式除尘器》（JB/T 8532-2023）出口粉尘浓度限值为 $<20\text{ mg}/\text{m}^3$ ，可达 $5\text{ mg}/\text{m}^3$ 以下，另外，部分企业在执行过程中主动要求将排放指标提升到 $20\text{ mg}/\text{m}^3$ 以下甚至更低，由此可知目前袋式除尘器主流产品颗粒物排放浓度一般要求做到 $<20\text{mg}/\text{m}^3$ 。

从2014年9月发布的《煤电节能减排升级与改造行动计划（2014—2020年）》（发改能源[2014]2093号）为标志的超低排放改造开始，燃煤电站锅炉率先开始超低排放改造，随后热电锅炉、钢铁、水泥等重点行业也逐步跟进，生活垃圾等固废焚烧行业多数参照更严格的欧盟2000的标准设计，可以说已有多多个行业的袋式除尘器全面实现了 $<10\text{mg}/\text{m}^3$ 超低排放。

从袋式除尘器过滤机理和工程应用经验来看，袋式除尘器完全可以做到颗粒物排放 $5\text{ mg}/\text{m}^3$ 以下，如生活垃圾焚烧行业的袋式除尘器较多做到了 $<3\text{ mg}/\text{m}^3$ ，但是除尘器加工制作、滤料精度、过滤风速等方面的要求和限制相比高很多，鉴于目前的技术水平从经济性和投入产出比来看与倡导的绿色设计相悖。

综上，本次标准修订基于目前技术经济发展水平和相关行业污染物标准排放限值要求，将颗粒物排放浓度确定为 $10\text{ mg}/\text{m}^3$ 和 $30\text{ mg}/\text{m}^3$ 两个分档值。

2.4.2.2 袋式除尘器比电耗的调研验证

标准修订工作组通过发放调研表、现场走访、网络相关资源收集汇总，根据工程项目的运用和运行经验的积累，结合科学方法有效甄别和梳理上述原始数据，最终燃煤锅炉用袋式除尘器收集到29个有效案例，水泥新型干法回转窑用袋式除尘器收集到11个有效案例、钢铁烧结半干法脱硫除尘用袋式除尘器收集到12个有效案例。

燃煤锅炉用袋式除尘器收集到29个有效案例，包括300MW和600MW级的电站燃煤锅炉，也有63t/h~690t/h规模的热电联产的燃煤锅炉，按照修订后的能效等级比电耗值，期中达到1级能效的1台，2级能效的7台，其他21台均为3级能效。具体见表2所示。

水泥新型干法回转窑用袋式除尘器收集到11个有效案例，规模基本都是市场主流的5000t/d,期中窑头除尘器3台，1台2级能效，两台3级能效；窑尾除尘器3台，2台2级能效，6台3级能效。具体见表3所示。

钢铁烧结半干法脱硫除尘用袋式除尘器收集到12个有效案例，期中9台采用CFB循环流化床脱硫，1台2级能效，其余均为3级能效；3台采用SDA旋转喷雾法脱硫，均为2级能效。具体见表3所示。

表2 燃煤锅炉用袋式除尘器能耗统计表

序号	机组容量	投运时间	除尘器类型	入口烟气量 (m ³ /h)	出口含尘浓度 (mg/Nm ³)	设备阻力 (Pa)	清灰耗气量 (m ³ /min)	设备阻力能 耗 (kW)	清灰能耗 (kW)	比电耗 (10 ⁻³ kW·h/m ³)	能效 等级
案例1	2×130t	2017. 8	中压行喷	249800	≤20	1200	0.36	97.9608	2.4840	0.402	3
案例2	2×130t	2019. 8	中压行喷	231000	≤30	1200	0.36	90.5882	2.4840	0.403	3
案例3	2×30MW	2019. 12	中压行喷	182500	≤30	1200	0.36	71.5686	2.4840	0.406	3
案例4	280t/h	2021. 2	中压行喷	500000	≤5	1200	1.08	196.0784	7.4520	0.407	3
案例5	90t/h	2021. 8	中压行喷	152714	≤10	1200	0.28	59.8878	1.9320	0.405	3
案例6	280t/h		中压行喷	774725	≤5	1200	1.04	303.8137	7.1760	0.401	3
案例7	220t/h		中压行喷	529500	≤10	1200	1.08	207.6471	7.4520	0.406	3
案例8	330t/h	2021. 2	中压行喷	600000	≤15	1200	1.28	235.2941	8.8320	0.407	3
案例9	30MW	2023. 4	中压行喷	313800	≤10	900	0.51	92.2941	3.5190	0.305	2
案例10	110t/h	2023. 5	中压行喷	325150	≤20	900	0.80	95.6324	5.5200	0.311	2
案例11	150t/h	2022. 9	中压行喷	330000	≤15	900	0.90	97.0588	6.2100	0.313	2
案例12	230t/h	2022. 1	中压行喷	232790	≤5	1200	0.48	91.2902	3.3120	0.406	3
案例13	480t/h	2023. 1	中压行喷	828000	≤10	1200	1.44	324.7059	9.9360	0.404	3
案例14	85t/h	2025. 3	中压行喷	140000	≤20	1200	0.28	54.9020	1.9320	0.406	3
案例15	167t/h	2024. 12	中压行喷	250000	≤10	1200	0.48	98.0392	3.3120	0.405	3
案例16	20MW	2025. 6	中压行喷	95960	≤115.3	1200	0.30	37.6314	2.0700	0.414	3
案例17	300t/h	2025. 9	中压行喷	635000	≤10	900	0.96	186.7647	6.6240	0.305	2
案例18	130t/h	2026. 4	中压行喷	193081	≤10	1200	0.30	75.7180	2.0700	0.403	3
案例19	660MW	2021. 4 2021. 12	中压行喷	4289578	≤30	1200	2.63	1682.1875	18.1169	0.396	3
案例20	600MW	2016. 5 2016. 12	低压旋喷	3463920	≤30	1200	7.47	1358.4000	51.5200	0.407	3
案例21	350MW	2023. 12 2024. 4	中压行喷	1823760	≤15	900	1.36	536.4000	9.4174	0.299	3
案例22	30MW	2018 2020	中压行喷	282750	≤20	900	0.51	83.1618	3.5190	0.307	3
案例23	690t/h	2020. 6	中压行喷	1014275	≤10	1150	1.20	381.1818	8.2800	0.384	3
案例24	608t/h	2016. 2	低压旋喷	986262	≤30	1500	2.80	483.4618	19.3200	0.510	3
案例25	75t/h	2019. 6	中压行喷	118320	≤18.5	700	0.18	27.0667	1.2420	0.239	1
案例26	63t/h	2020. 1	中压行喷	137750	≤20	900	0.22	40.5147	1.5180	0.305	2
案例27	330t/h	2019. 8	中压行喷	650000	≤5	1100	0.91	233.6601	6.2790	0.369	3
案例28	120t/h	2022. 2	中压行喷	171868	≤10	900	0.35	50.5494	2.3920	0.308	2
案例29	240t/h	2020. 12	中压行喷	365400	≤10	900	0.59	107.4706	4.0863	0.305	2

表3 水泥新型干法回转窑用袋式除尘器能耗统计表

序号	窑头/窑尾	规模 (t/d)	投用/改造 年份	入口烟气量 (m³/h)	出口含尘浓度 (mg/m³)	设备阻力 (Pa)	平均耗气量 (m³/min)	设备阻力能耗 (kW)	清灰能耗 (kW)	比电耗 (10³ kW·h/m³)	能效 等级
案例1	窑头	4500	2016	680000	≤10	1100	1.662	244.4444	11.4646	0.376	3
案例2	窑头	6000	2018	750000	≤10	1000	1.687	245.0980	11.6412	0.342	3
案例3	窑头	2500	2022	380000	≤10	650	1.349	80.7190	9.3079	0.237	2
案例4	窑尾	4500	2016	950000	≤10	1200	2.187	372.5490	15.0927	0.408	3
案例5	窑尾	6000	2018	1250000	≤10	1100	4.574	449.3464	31.5616	0.385	3
案例6	窑尾	5000	2018	452542	≤1	1400	1.106	207.0454	7.6316	0.474	3
案例7	窑尾	5000	2019	950000	≤5 (3.4)	1000	3.184	310.4575	21.9673	0.350	3
案例8	窑尾	5000	2021	920000	≤10	800	2.172	240.5229	14.9850	0.278	2
案例9	窑尾	4500	2024	500000	≤10	1000	1.891	163.3987	13.0449	0.353	3
案例10	窑尾	5000	2024	880000	3.5 (2)	700	2.938	201.3072	20.2747	0.252	2
案例11	窑尾	5000	2024	900000	≤10	800	3.052	235.2941	21.0600	0.285	3

表4 钢铁烧结半干法脱硫除尘用袋式除尘器能耗统计表

序号	规模 (m²)	投运时间	脱硫方式 (循环流化床/SDA法)	入口烟气量 m³/h	出口含尘浓度 (mg/m³)	设备阻力 (Pa)	平均耗气量 (m³/min)	设备阻力能耗 (kW)	清灰能耗 (kW)	比电耗 (10³ kW·h/m³)	能效 等级
案例1	2×500m²	2018年	CFB	1900000	≤5	1400	12.80	869.2810	88.3200	0.504	2
案例2	105m²	2015年	SDA	950000	≤20	1300	2.11	403.5948	14.5603	0.440	2
案例3	200万吨球团	2017年	CFB	1310000	≤3	1500	6.40	642.1569	44.1600	0.524	3
案例4	240m²	2018年	CFB	1110000	≤3	1500	6.40	544.1176	44.1600	0.530	3
案例5	126m²	2019年	CFB	510000	≤5	1600	1.80	266.6667	12.4200	0.547	3
案例6	360m²	2018年	SDA	1570000	≤10	1400	3.98	718.3007	27.4315	0.475	2
案例7	360m²	2019年	CFB	1450000	≤10	1500	13.12	710.7843	90.5280	0.553	3
案例8	360m²	2017年	SDA	2600000	≤20	1200	7.68	1019.6078	53.0214	0.413	2
案例9	180m²	2019年	CFB	850000	≤10	1500	3.60	416.6667	24.8400	0.519	3
案例10	600m²	2019年	CFB	2360000	≤10	1450	19.20	1118.3007	132.4800	0.530	3
案例11	230m²	2021年	CFB	1900000	≤5	1500	13.12	931.3725	90.5280	0.538	3
案例12	180m²	2020年	CFB	850000	≤10	1600	3.60	444.4444	24.8400	0.552	3

2.4.2.3 袋式除尘器典型案例验证情况

标准修订工作组选取了某台袋式除尘器进行了评价验证，除尘器相关参数具体如下：

工艺点	3×270t/h热电联产高温高压循环流化床燃煤锅炉	
投运时间	2016年1月	
除尘器	设备型号	LGM/KE-11340
	过滤面积	11340m²
	过滤风速	0.7m/min
	清灰方式	在线/离线清灰

	脉冲阀规格	3.5'
	脉冲阀数量	132
	清灰强度	0.45MPa
滤袋	尺寸规格	Φ160×9000mm
	滤料材质	PPS+PTFE浸渍
设计流量	Nm ³ /h	285000
设计温度	°C	130
设计颗粒物入口浓度	g/Nm ³	~30
设计颗粒物出口浓度	mg/Nm ³	5
本体漏风率	%	≤1.5
设备运行阻力	Pa	800

比电耗计算如下：

参数	符号	单位	数值	备注
工况烟气量	Q	m ³ /h	420714	设计值，烟气温度130°C
压力降	ΔP	Pa	900	设计值，过滤速度0.7m/min
综合效率系数	—	—	0.85	来源：GB 37484
阻力电耗	W_r	kW·h/h	123.739	$W_r=(Q \times \Delta P)/(3600 \times 1000 \times 0.85)$
单阀清灰耗气量	L	m ³ /次	0.45	设计值，3"阀为0.45m ³
每立方米的压缩空气电耗	k	kW·h/m ³	0.115	来源：GB 37484
脉冲阀数量	n	个	132	设计值
清灰周期	T	s	5400	设计值
清灰电耗	W_{dc}	kW·h/h	4.554	$W_{dc}=3600 \times L \times k \times n / T$
单位时间的主要电耗	W	kW·h/h	128.293	$W=W_r+W_{dc}$
袋式除尘器比电耗	C	×10 ⁻³ kW·h / m ³	0.30	计算公式： $C=W/Q$
出口烟气含尘浓度	$c_{出}$	mg/m ³	5	设计值
主机规模或工艺	300MW（或相当规模）级以下		根据主机类别和规模填写	
除尘器能效等级	2		能效等级分为3级，其中1级能效最高	

综上，通过试验验证表明，本次标准修订规定的要求、方法、评价及流程先进合理、科学准确、具有可操作性，符合当前技术条件和发展需求，可为除尘器高效能评价提供技术依据。

2.4.3 电袋复合式除尘器能效等级

2.4.3.1 燃煤电厂锅炉电袋复合除尘器调查

根据燃煤电厂锅炉目前运行的电袋复合除尘器，按照机组类型，调查对象大致分成300MW、600MW、1000MW。考虑到除尘器在实际运行中工况的变动，电场区的设计与煤质成分，入口浓度，改造前除尘器的结构，现场场地要求等各种因素，同一个机组等级的电袋复合除尘器的能耗差异较大。现结合实际调研中电袋复合除尘器电气负荷表中各用电设备的运行使用系数平均值以及评价设备运行阻力，分别对300MW、600MW、1000MW机组调查统计。

(1) 1000MW的调查统计

目前，世界上的最大的电袋复合除尘器为1000MW机组，调查样本共13个，比电耗的最大值为0.48，最小值为0.24，平均值为0.37（单位为 $10^{-3}\cdot\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ ，以下同），具体见图1。



图1 1000MW机组比电耗图

(2) 600MW的调查统计

从600MW机组的调查统计，调查样本共47个，比电耗的最大值为0.54，最小值为0.20，平均值为0.37，具体见图2：

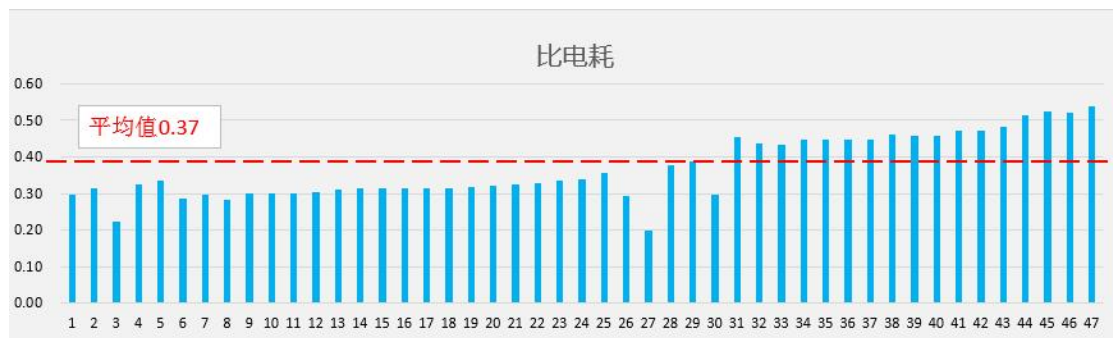


图2 600MW机组比电耗图

(3) 300MW机组的调查

从300MW机组，调查样本共34个，比电耗的最大值为0.50，最小值为0.19，平均值为0.34，具体见图3。



图3 300MW机组比电耗图

2.4.3.2 水泥回转窑电袋复合除尘器分项调查

水泥回转窑电袋复合除尘器工艺复杂，不同工艺差异很大，这里的调查只包括目前应用最多的新型干法回转窑。主要用在窑头和窑尾，其中窑尾是指新型干法回转窑（带分解炉），并采用辊式原料磨，出口配用粗粉分离器的工艺系统。按照产能分类，调查对象大致分成5000t/d、2500t/d。同时，水泥窑头与窑尾配套使用的电袋复合除尘器，两者差异也很大，包括入口烟气含尘浓度和设备阻力等。窑尾的入口烟气含尘浓度一般在80g/m³以上，窑头一般在30 g/m³以内。除了入口浓度及设备阻力，电袋复合除尘器在实际运行中受工况、煤质等其它因素影响也很大，现结合实际运行中的电袋复合除尘器的电耗情况，分别对窑头、窑尾用电袋复合除尘器进行分类调查。

(1) 窑头5000t/d的调查统计

从对水泥窑头产能5000t/d的调查统计，调查样本共8个，比电耗的最大值为0.315，最小值为0.283，平均值为0.293（单位为10⁻³·kW·h/m³，以下同），具体见图4：

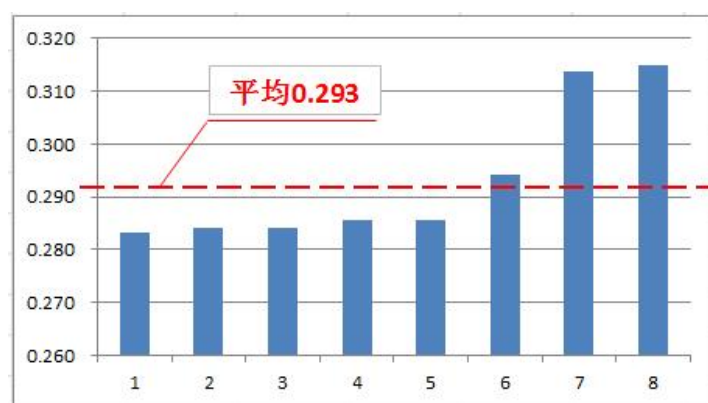


图4 水泥窑头5000t/d比电耗图

(2) 窑头2500t/d的调查统计

从对水泥窑头产能2500t/d的调查统计，调查样本共14个，比电耗的最大值为0.334，最小值为0.289，平均值为0.318，具体见图5：

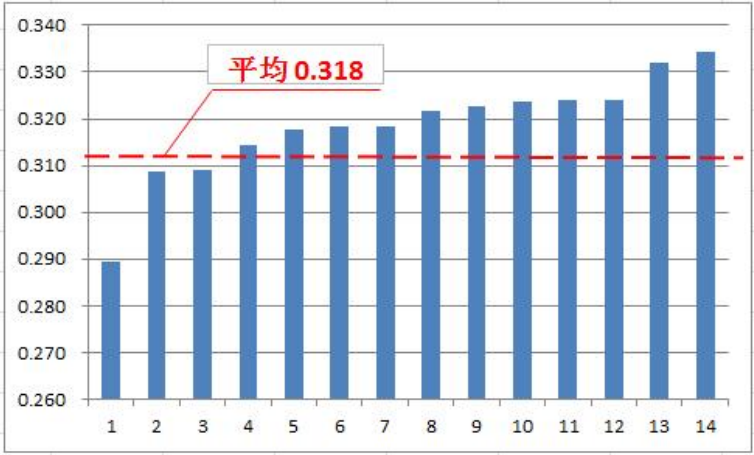


图5 水泥窑头2500t/d比电耗图

(3) 窑尾5000t/d的调查统计

从对水泥窑尾产能5000t/d的调查统计，调查样本共14个，比电耗的最大值为0.383，最小值为0.323，平均值为0.341，具体见图6：

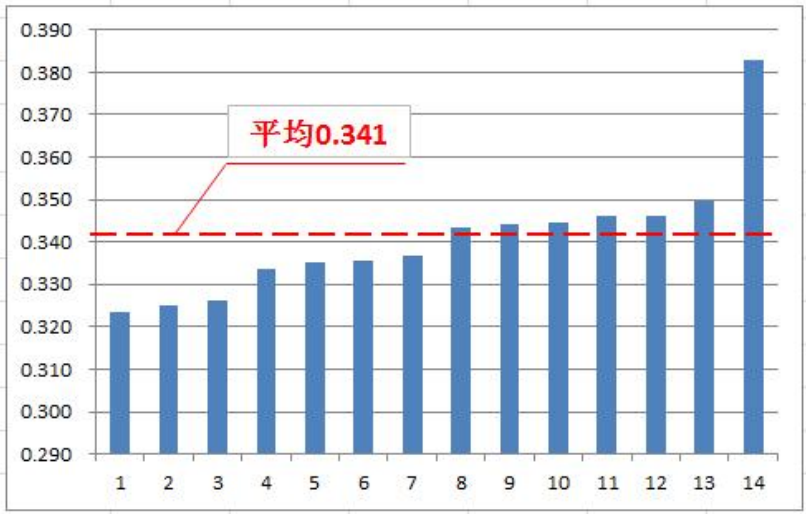


图6 水泥窑尾5000t/d比电耗图

(4) 窑尾2500t/d的调查统计

从对水泥窑尾产能2500t/d的调查统计，调查样本共27个，比电耗的最大值为0.390，最小值为0.337，平均值为0.364，具体见图7：

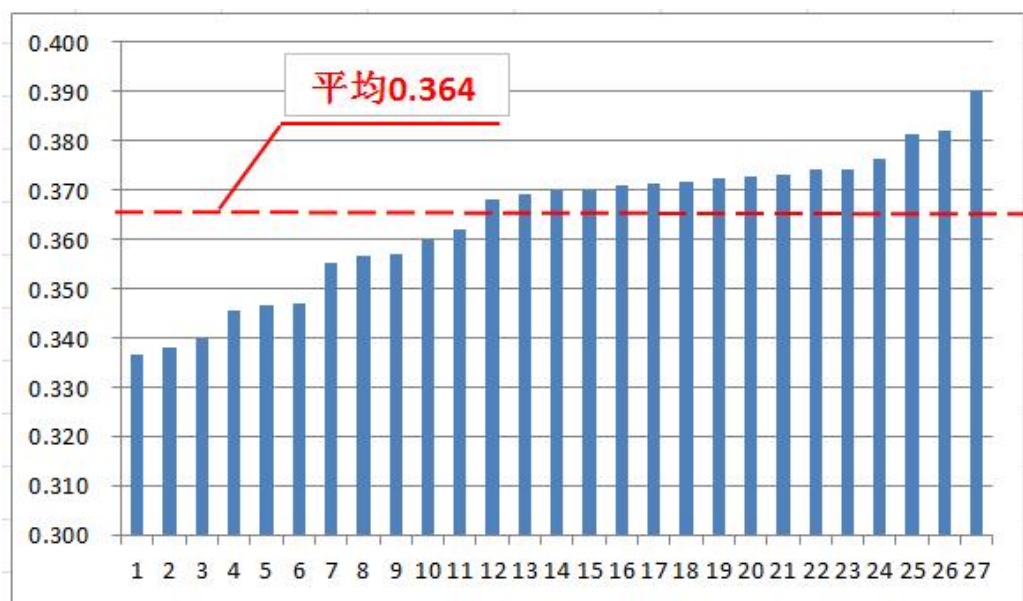


图7 水泥窑尾2500t/d比电耗图

2.4.3.3 氧化铝焙烧炉电袋复合除尘器调查

根据氧化铝焙烧炉目前运行的电袋复合除尘器来看，大部分入口浓度较大，一般是小于 $100\text{g}/\text{m}^3$ ，出口排放浓度都是小于 $10\text{mg}/\text{m}^3$ ，正常运行阻力相对平稳，因此对氧化铝焙烧炉电袋的能效等级不再细分多个出口排放。

本次调研氧化铝焙烧炉电袋复合除尘器样本共28个，比电耗的最大值为0.56，最小值为0.32，平均值为0.42，具体见图8：

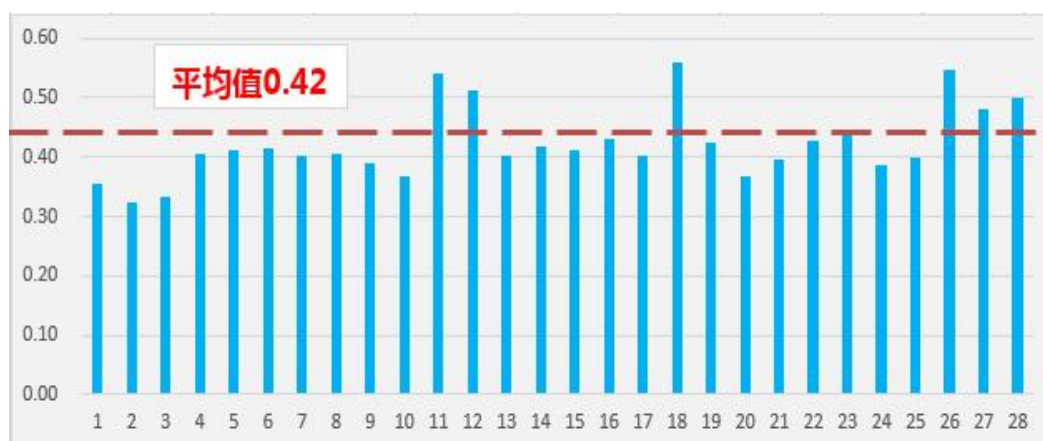


图8 氧化铝焙烧炉电袋复合除尘器比电耗图

2.4.3.4 调查数据分析

通过对上电袋复合除尘器的调查可以看出：

(1) 电袋复合除尘器比电耗的影响因素十分复杂，不仅与机组容量、煤种的除尘难易性、出口烟气含尘浓度、入口烟气含尘浓度等有关，还与高压电源型式及控制方式和

运行条件有关，且不同电除尘器制造厂家采用的结构型式和技术水平存有差异也将直接影响比电耗。对于燃煤电厂锅炉电袋复合除尘器能耗，高压设备的电耗和电袋复合除尘器阻力电耗占了总电耗的绝大部分。而从电袋复合除尘器阻力电耗的计算公式及比电耗的计算公式可以得出，电袋复合除尘器阻力电耗所占的比电耗与烟气量无关，因此，机组大小对比电耗的影响不大，比电耗随机组大小的变化梯度不明显。

(2) 根据电袋复合除尘器的原理，在保证出口排放都是 $10\text{mg}/\text{Nm}^3$ 的情况下，即使入口浓度不同，都要求控制电场区的出口在一定的浓度内。因此，电袋复合除尘器的入口浓度越大，通常要求电场区的总集尘面积也越多，而通常板电流密度是一个定值，因此电场区的电耗也越大。因此，本标准针对入口浓度对能效等级进行了修正，当入口浓度大于 $30\text{ g}/\text{m}^3$ ，比电耗值应乘以1.1的修正系数。而水泥回转窑电袋复合除尘器中，窑头的入口浓度相对固定，变化小；窑尾的入口浓度可能差异很大，但最终引起的比电耗变化也不大，入口浓度与比电耗没有明显的线性关系，因此在水泥回转窑中，忽略入口浓度对比电耗的影响。

(3) 如果要降低出口排放，需要加大电场集尘面积或提高过滤精度，因此电场电耗会增大，且设备阻力也可能加大，相应比电耗相应增大。所以出口烟气含尘浓度越小，比电耗越大。随着国家三部委发布《煤电节能减排与改造行动计划》（发改能源[2014]2093号），国家对环保要求不断提高，近十年的投标项目，出口排放大于 $20\text{ mg}/\text{m}^3$ 的已经越来越少，通过抽查66台投标项目，大于 $20\text{ mg}/\text{m}^3$ 的项目仅占13.6%。同时，《火电厂及锅炉大气污染物排放标准》（GB 13223-2011）国标正在修订并已经征求意见，即将发布，该文件要求颗粒物排放限值提升至 $10\text{ mg}/\text{m}^3$ 以下。考虑到标准先进性及前瞻性的特点，本次修订燃煤电厂电袋复合除尘器比电耗中，删除了出口 $20\sim 30\text{ mg}/\text{m}^3$ 这一等级的比电耗，反而新增了出口 $\leq 5\text{ mg}/\text{m}^3$ 等级。同理，由于大多水泥厂已实施或即将实施超低排放，水泥回转窑电袋复合除尘器能效等级针对出口排放 $20\sim 30\text{mg}/\text{m}^3$ 这一档已没意义，本次修订删除。

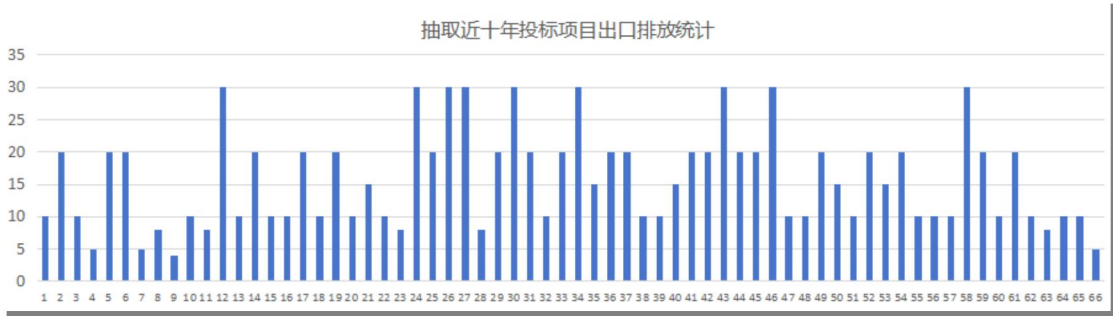


图9 抽取近十年投标项目出口排放统计

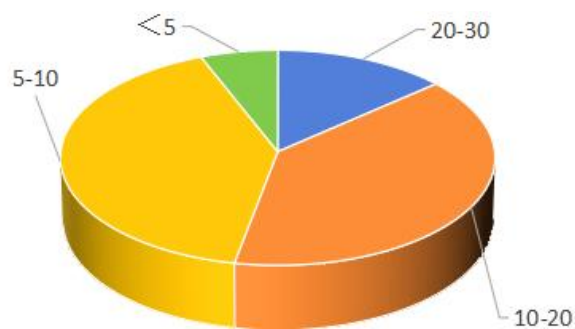


图10 各出口排放占比图

（4）随着电袋复合除尘器在非电领域的深入拓展与应用，已经在氧化铝焙烧炉取得了几十台的应用案例，且这些项目均已成功投运，各项运行指标良好。未来预计有越来越多非电领域应用电袋复合除尘器的案例，市场空间巨大，因此有必要增加此部分的能耗，对于规范市场，倡导节能降耗具有重要意义。本次修订增加了氧化铝焙烧炉烟气电袋复合除尘器的能效等级，其余非电行业的能效等级可参照执行。

2.4.3.4 最终能效等级确定

本次数据调查覆盖多家生产厂家，因不同厂家在生产规模、管理模式、技术水平、数据记录规范等方面存在显著差异，个案情况复杂多样，导致数据采集与分析过程中存在一定局限性。而且行业内设备厂家众多，无法实现全覆盖，可能对结果的普适性与代表性产生影响。因此，本次修订，根据实际案例调查，并综合考虑调查存在的客观局限因素，结合经验值，对各个数据的进行了适当的修正，提升数据质量与结论可靠性，提高能效等级的科学性。最终确定各产品的能效等级如下。

表1 燃煤电厂锅炉电袋复合除尘器能效等级

能效等级	出口烟气含尘浓度 c_{out} [mg/m ³ （标态，干基）]	比电耗（10 ⁻³ kW·h/m ³ ）		
		300MW级	600MW级	1000MW级
1级	$10 < c_{out} \leq 20$	0.23	0.22	0.20
	$5 < c_{out} \leq 10$	0.25	0.24	0.23
	$c_{out} \leq 5$	0.30	0.29	0.28
2级	$10 < c_{out} \leq 20$	0.27	0.26	0.25
	$5 < c_{out} \leq 10$	0.29	0.28	0.27
	$c_{out} \leq 5$	0.34	0.33	0.32
3级	$10 < c_{out} \leq 20$	0.47	0.46	0.45
	$5 < c_{out} \leq 10$	0.49	0.48	0.47
	$c_{out} \leq 5$	0.54	0.53	0.52

注：当电袋复合除尘器入口烟气含尘浓度大于30 g/m³时，比电耗值乘以1.1的修正系数。

表2 水泥回转窑电袋复合除尘器能效等级

能效等级	出口烟气含尘浓度 c_{out} [mg/m ³ （标态，干基）]	比电耗（10 ⁻³ kW·h/m ³ ）			
		窑头[产能(t/d)]		窑尾[产能(t/d)]	
		2500 ≤ 产能 < 5000	产能 ≥ 5000	2500 ≤ 产能 < 5000	产能 ≥ 5000
1级	10 < c_{out} ≤ 20	0.24	0.22	0.30	0.28
	c_{out} ≤ 10	0.26	0.24	0.32	0.30
2级	10 < c_{out} ≤ 20	0.28	0.26	0.34	0.32
	c_{out} ≤ 10	0.30	0.28	0.36	0.34
3级	10 < c_{out} ≤ 20	0.45	0.43	0.54	0.52
	c_{out} ≤ 10	0.48	0.45	0.57	0.55

表3 氧化铝焙烧炉电袋复合除尘器能效等级

能效等级	出口烟气含尘浓度 c_{out} [mg/m ³ （标态，干基）]	比电耗（10 ⁻³ kW·h/m ³ ）
1级	c_{out} ≤ 10	0.34
2级	c_{out} ≤ 10	0.38
3级	c_{out} ≤ 10	0.52

三、与有关法律、行政法规和其他强制性标准的关系，配套推荐性标准的制定情况

国家标准《电除尘器》（GB/T 40514-2021）、《电袋复合除尘器》（GB/T 27869-2011）、《袋式除尘器技术要求》（GB/T 6719-2009）、《燃煤锅炉袋式除尘器》（GB/T 29154-2012）、《高效能大气污染物控制装备评价技术要求 第2部分：电除尘器》（GB/T 33017.2-2016）、《高效能大气污染物控制装备评价技术要求 第3部分：袋式除尘器》（GB/T 33017.3-2016）、《高效能大气污染物控制装备评价技术要求 第4部分：电袋复合除尘器》（GB/T 33017.4-2016）、《高效能大气污染物控制装备评价技术要求 第6部分：湿式电除尘器》（GB/T 33017.6-2024）已颁布实施或正处于修订中，《除尘器能效限定值及能效等级》作为能效等级国家标准，修订可与上述标准相互关联。以国家标准为核心，衍生相关的设计、安装、调试、运行、维护、安全等相关的行业标准，构建了大气污染治理领域专业较全面、操作性较强及富有一定前瞻性的标准体系，增加了国家环保装备的核心竞争力，促进了行业技术进步，有利于产业可持续发展。

本文件技术要求、性能指标等符合《火电厂大气污染物排放标准》（GB 13223-2011）、国家发改委、生态环境部和能源局联合发布的《煤电节能减排升级与改造行动计划（2014-2020年）》（发改能源[2014]2093号）、《全面实施燃煤电厂超低排放和节能改造工作方案》（环发〔2015〕164号），生态环境部、国家发展和改革委员会、工业和信息

化部、财政部和交通运输部联合发布的《关于推进实施钢铁行业超低排放的意见》（环大气〔2019〕35号）要求等国家标准和政策要求。

本文件与现行的相关法律、法规、规章及相关标准协调一致。本文件的实施有助于《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国大气污染防治法》和《火电厂大气污染物排放标准》等一系列国家环境保护法律、法规、规章和强制性国家标准的实施。

四、与国际标准化组织、其他国家或者地区有关法律法规和标准的比对分析

本文件没有采用国际标准。

本文件修订过程中未查到同类国际、国外标准。

本文件修订过程中未测试国外的样品、样机。

本文件水平为国内先进水平。

五、重大分歧意见的处理过程、处理意见及其依据

本文件遵循各方参与原则，修订过程中充分吸收了有关领域专家的意见，无重大分歧意见。

六、对强制性国家标准自发布日期至实施日期之间的过渡期（以下简称过渡期）的建议及理由，包括实施强制性国家标准所需要的技术改造、成本投入、老旧产品退出市场时间等

由于本次修订，电除尘器部分增加了钢铁行业烧结机头干式电除尘器能效等级，增加了湿式电除尘器能效等级，更新了测试方法；袋式除尘器部分对部分比电耗的指标值进行了修改；电袋复合除尘器增加氧化铝焙烧炉电袋复合除尘器能效等级，修改了除尘器性能测试对于主机负荷的要求等，涉及产品类型有所扩展且复杂，需要较长的过渡期进行市场消化，也需要给企业和检测机构留出较长时间进行测试方面的准备。因此，建议本文件批准发布后 12个月内实施。即标准发布后12个月后实施。

七、与实施强制性国家标准有关的政策措施，包括实施监督管理部门以及对违反强制性国家标准的行为进行处理的有关法律、行政法规、部门规章依据等

与实施本项强制性国家标准有关的政策措施包括：《中华人民共和国节约能源法》（涉及其中的第十二条、第十三条、第十五条、第十六条、第十七条、罚则第七十条）、《节能监察办法》（国家发展改革委【2016】第33号令）（涉及其中的第六条、第十一条、第十八条、第二十四条），以及《重点用能单位节能管理办法》（国家发改委会令（2018）15号）第十七条。

本文件实施监督管理部门为：国家市场监管总局、国家发展和改革委员会、工业和信息化部、县级以上人民政府管理节能工作的部门和有关部门。建议本文件正式发布后，积极开展标准宣贯，针对生产企业、检测认证机构等相关方组织专题培训，促进标准理解与应用，保障标准实施效果。

八、是否需要对外通报的建议及理由

鉴于涉及对外贸易的需要，建议对本文件进行对外通报。

九、废止现行有关标准的建议

本文件发布后6个月，GB 37484-2019 强制性国家标准废止。

十、涉及专利的有关说明

本文件不涉及专利问题。

十一、强制性国家标准所涉及的产品、过程或者服务目录

本文件所涉及的产品包括以下几类：

- 1、燃煤电厂锅炉和钢铁行业烧结机头烟气除尘用干式电除尘器；燃煤电厂锅炉和钢铁行业烟气除尘用湿式电除尘器；
- 2、燃煤锅炉用袋式除尘器、水泥新型干法回转窑用袋式除尘器、钢铁烧结半干法脱硫除尘用袋式除尘器；
- 3、燃煤电厂锅炉、水泥新型干法回转窑、氧化铝焙烧炉烟气除尘用的电袋复合除尘器。

十二、其他应当予以说明的事项

1、标准强制的理由

需强制的内容为本文件全文。“节能减排”是我国的一项基本国策，是促进经济、社会与环境协调发展和实施可持续发展战略之一。随着我国大气环境污染日益严峻，能源危机逐渐逼近，我国电除尘器也应向着进一步提高除尘效率和降低能耗的方向发展。电除尘器是工业烟气净化的关键装备，广泛应用于电力、钢铁、水泥、化工等行业，其运行能耗在工业系统总能耗中占有显著比重。对能效限定值和等级划分进行全文强制，是从源头控制设备能耗、淘汰落后高耗能产品、引导行业技术进步的核心手段。当前市场上除尘设备能效水平差异较大，部分低效产品仍在生产和使用，导致能源浪费。仅对部分条款进行强制难以形成有效约束，全文强制可确保标准在设计、制造、质量、测试等各环节得到完整实施。全文强制有助于与国家节能法规、产业政策及环保排放标准协同发力，通过强制性国家标准引导节能产品应用，可有效促进除尘领域技术革新与产业升级。因此，将本标准全文确定为强制性国家标准，是应对能源环境挑战、促进电除尘行业高质量发展、推动国家节能降耗政策的必要举措。

2、预期达到的社会效益、对产业发展的作用等情况

近年来，我国除尘行业在新技术、新材料、新工艺及新产品的研发应用方面取得显著进步，有效支撑了国家环境保护需求。我国静电、袋式和电袋复合除尘器凭借其高除尘效率和稳定性能，能够切实满足颗粒物超低排放要求，已成为国民经济建设中不可或缺的高

效除尘设备，是打赢“蓝天保卫战”的关键利器。但在当前我国碳中和与碳达峰目标下，持续降低除尘器能耗仍是亟待解决的重要课题。

本次修订完善除尘器产品能效限值及节能评价标准，既能释放显著社会效益，又能驱动产业高质量升级，实现生态效益、经济效益与行业发展的协同共赢。

修订后的标准贴合国家“双碳”目标与大气污染防治攻坚要求，统一全行业能效评价口径，倒逼低效设备退出市场，实现产品的优胜劣汰，大幅降低工业除尘环节能耗损耗，提高除尘效率，助力重点行业减污降碳协同增效。

企业和产品层面，通过本次标准修订，将鼓励企业持续优化除尘器产品绿色设计，推广应用减污降碳技术，实现科学降低能耗；将倒逼企业淘汰高耗能、低效率的落后产品，加大研发投入，推动高性能滤材、智能控能等关键技术突破；将助力除尘器从“中国制造”迈向“中国创造”，提升我国除尘装备的核心竞争力与国际话语权，为除尘设备的出口创汇创造有利条件。

行业发展层面，标准修订锚定行业技术前沿，将促进全行业产品结构调整与绿色低碳转型，引导行业向“高效低耗”协同发展转变。一方面，通过树立先进能效标杆，有助于提升行业的整体技术水平，促进优质产品的推广与应用；另一方面还将推动传统产业的绿色改造，淘汰落后产能，进而推动除尘行业实现高质量发展，推动我国环保装备制造业向高效、节能、绿色、低碳和智能化方向转型升级。标准的实施，还将进一步规范环保装备市场准入，杜绝参数虚标、劣质产品乱象，规范市场竞争秩序，保障工业企业除尘治理实效，筑牢生态环保底线。

整体环境效益方面看，本次标准修订，拓宽了标准的适用范围，覆盖燃煤电厂、钢铁、有色等多领域除尘场景。以标准实施为基础，将筑牢超低排放治理防线，巩固超低排放治理成果，确保除尘设备在长期运行中，既能稳定达标，又能经济节能，持续改善区域大气环境质量，守护公众生态健康；同时，标准也将为重点行业的节能减排监督管理工作提供科学依据，为工业绿色低碳发展提供坚实装备支撑与标准保障。