



中华人民共和国国家标准

GB/T 33652—2025

代替 GB/T 33652—2017

水泥制造能耗测试技术规程

Technical regulation of energy consumption test for cement manufacturing

2025-10-31 发布

2026-05-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

前 言

本文件按照 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》的规定起草。

本文件代替 GB/T 33652—2017《水泥制造能耗测试技术规程》，与 GB/T 33652—2017 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 更改了测试范围图中系统划分(见第 4 章,2017 年版的第 3 章)；
- b) 更改了“生料制备系统”“水泥制备系统”和“煤粉制备系统”的测试边界(见 6.2.1.1、6.2.1.2 和 6.2.1.3,2017 年版的 5.2.2.1、5.2.2.2 和 5.2.2.3)；
- c) 更改了熟料烧成及废气处理系统测试边界,增加了不计入烧成能耗范围的说明(见 6.3.1,2017 年版的 5.3.1)；
- d) 删除了可比熟料烧成系统煤耗和可比熟料烧成系统电耗的计算方法(见 2017 年版的 5.3.4、5.3.6)；
- e) 更改了水泥包装及发运系统能耗测试的要求,删除了辅助生产系统能耗测试的相关要求(见 6.5.2,2017 年版的 5.5.2)；
- f) 增加了协同处置系统、替代燃料系统、脱硫脱硝系统和辅助生产系统能耗测试的要求(见 6.6～6.9)；
- g) 增加了单位产品能耗计算的内容(见第 7 章)；
- h) 更改了测试报告模板内容,并更改了能耗测试结果要求(见第 8 章,2017 年版的第 6 章)；
- i) 更改了湿生料的实际生熟料折合系数计算公式(见附录 C,2017 年版的附录 C)；
- j) 增加了熟料产量实物盘库计量方法(见 D.3)。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国建筑材料联合会提出。

本文件由全国能源基础与管理标准化技术委员会(SAC/TC 20)归口。

本文件起草单位：天津水泥工业设计研究院有限公司、中国建筑材料联合会、中才邦业(杭州)智能技术有限公司、天津中材工程研究中心有限公司、江山市何家山水泥有限公司、中国中材国际工程股份有限公司、天能水泥有限公司、华润水泥技术研发(广西)有限公司、山东山水水泥集团有限公司、南方科技大学台州研究院、嘉峪关大友嘉镁钙业有限公司、中材水泥有限责任公司、嘉峪关祁连山水泥有限公司、永登祁连山水泥有限公司、绵阳职业技术学院、北京国建联信认证中心有限公司、河北金隅鼎鑫水泥有限公司、内蒙古伊东冀东水泥有限公司、江西玉山南方水泥有限公司、中建三局集团华南有限公司、中交三公局华东建设工程有限公司、贵州省建筑材料科学研究设计院有限责任公司、江苏方圆建设工程检测有限公司、盐城市九州工程服务有限公司、中交第二航务工程局有限公司、福建月山能源科技有限公司、山东东华科技有限公司、四川华莹西南水泥有限公司、中国国检测试控股集团浙江有限公司、中铁京诚工程检测有限公司。

本文件主要起草人：刘涛、马娇媚、曹元辉、王伟、孙建、袁亦斌、宁晓强、秦中华、宁建根、陶从喜、丛龙成、刘凤霞、赵亮、蒋超、查建军、刘德芳、杜建强、杨胜义、荣亚坤、张怀军、何俊秀、马森、张立华、黄育聪、张连鹏、彭小平、邓荣娟、杨中周、李晋梅、何明海、崔广乾、王竞强、龙运兰、李波、何仲毅、李华军、郭领峰、扈德鹏、陈志彬、朱哲、陈苏芹、王鹏飞、刘恒波、王龙、周良、王洪军、娄彤、赵涇熠、王庆云、孙健、刘文、杜鑫、喻青儒、刘海勇、高鑫。

本文件于 2017 年首次发布,本次为第一次修订。

水泥制造能耗测试技术规程

1 范围

本文件规定了水泥制造能耗的测试范围、一般要求、技术要求、单位产品能耗计算和测试报告。

本文件适用于生产符合通用硅酸盐水泥及熟料制造的能耗测试与计算,其他水泥品种和熟料制造的能耗测试与计算参考本文件。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 176 水泥化学分析方法
GB/T 212 煤的工业分析方法
GB/T 213 煤的发热量测定方法
GB/T 384 石油产品热值测定法
GB/T 1345 水泥细度检验方法 筛析法
GB/T 2565 煤的可磨性指数测定方法 哈德格罗夫法
GB/T 8074 水泥比表面积测定方法 勃氏法
GB/T 16157 固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法
GB 16780 水泥单位产品能源消耗限额
GB/T 17671 水泥胶砂强度检验方法(ISO 法)
GB/T 21372 硅酸盐水泥熟料
GB/T 23331 能源管理体系 要求及使用指南
GB/T 24851 建筑材料行业能源计量器具配备和管理要求
GB/T 26281 水泥回转窑热平衡、热效率、综合能耗计算方法
GB/T 26282 水泥回转窑热平衡测定方法
GB/T 26566 水泥生料易烧性试验方法
GB/T 26567 水泥原料易磨性试验方法(邦德法)
GB/T 27977 水泥生产电能能效测试及计算方法
GB/T 30727 固体生物质燃料发热量测定方法
GB/T 35461 水泥生产企业能源计量器具配备和管理要求
GB/T 50123 土工试验方法标准
JC/T 543 烘干机热工测量方法与计算

3 术语和定义

GB 16780、GB/T 26281 和 GB/T 26282 界定的术语和定义适用于本文件。

4 测试范围

水泥制造能耗测试范围见图 1。

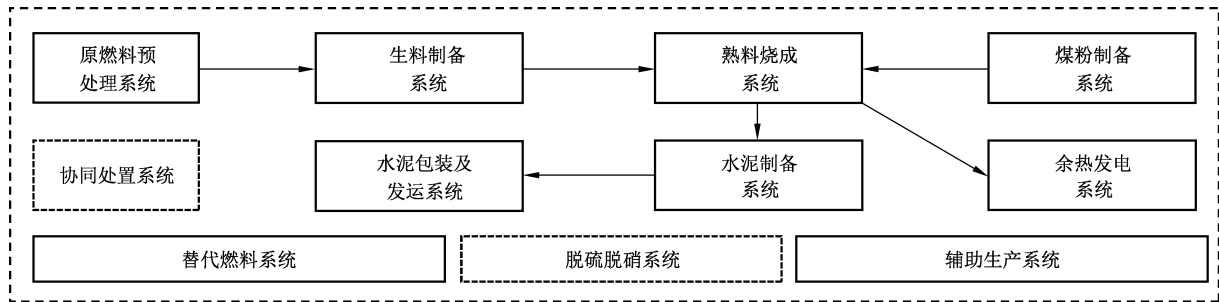


图 1 水泥制造能耗测试范围

5 一般要求

- 5.1 生产企业应按照 GB/T 23331 的要求建立能源管理体系,同时按照 GB/T 24851、GB/T 35461 的要求配备计量器具,在能耗测试前计量器具经过校验和校准,并记录。
- 5.2 同一个厂区存在多条生产线时,每条生产线应单独进行能耗测试。
- 5.3 测试前应根据企业提供的生产线基本情况表(见附录 A)编制测试大纲(见附录 B)。
- 5.4 测试前根据测试大纲的要求开好测孔,系统测孔位置应满足 GB/T 26282 的要求。
- 5.5 测试中电能应按照 GB/T 27977 进行测试与计算。

6 技术要求

6.1 原燃料预处理系统能耗测试

6.1.1 测试边界

从原燃材料进厂至原燃材料经过预处理后入调配库、磨头仓,包括原燃材料破碎、预均化、烘干及输送。

6.1.2 测试条件

- 6.1.2.1 在整条生产线运行的情况下,统计的时间应不少于 7 d。
- 6.1.2.2 预处理系统在生产线烧成系统和粉磨系统正常运行的情况下运行。
- 6.1.2.3 如果对烘干机系统进行能耗测试,现场条件应满足测试的要求。

6.1.3 测试内容

测试内容见表 1。如果采用回转烘干机系统,烘干机系统能耗测试内容按 JC/T 543 的规定进行。

表 1 原燃料预处理系统能耗测试内容

序号	测试项	测试内容			
		料量	成分	粒度	水分
1	进预处理系统物料	●	●	●	●
2	出预处理系统物料	●	●	●	●
3	预处理系统电耗	物料进入预处理系统至预处理后输送至相应储存库的电耗			
注：“●”表示该项需要进行测试。					

6.1.4 测试及计算方法

预处理系统电耗主要以水泥企业统计为主,对原燃料破碎和预均化系统,主要统计生产线正常运行情况下电耗及对应的熟料产量,预处理系统电耗折算至每吨熟料基准。
烘干机系统的热工测试与计算方法按 JC/T 543 的规定进行。

6.1.5 测试结果

测试结果主要为预处理系统电耗,如果有烘干机系统,还应包括烘干机系统热效率的测试结果。

6.2 粉磨系统能耗测试

6.2.1 测试边界

6.2.1.1 生料制备系统

从原料出原料调配库底到生料均化库顶,见图 2,其中生料均化库储存和均化电耗单独统计。

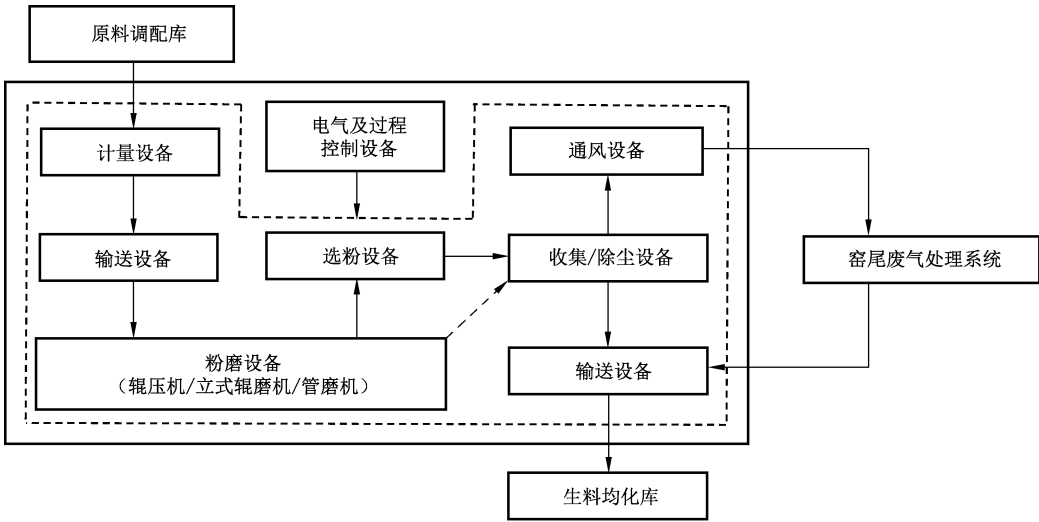


图 2 生料制备系统能耗测试边界

6.2.1.2 水泥制备系统

从水泥原料调配库底到水泥库顶,见图 3。

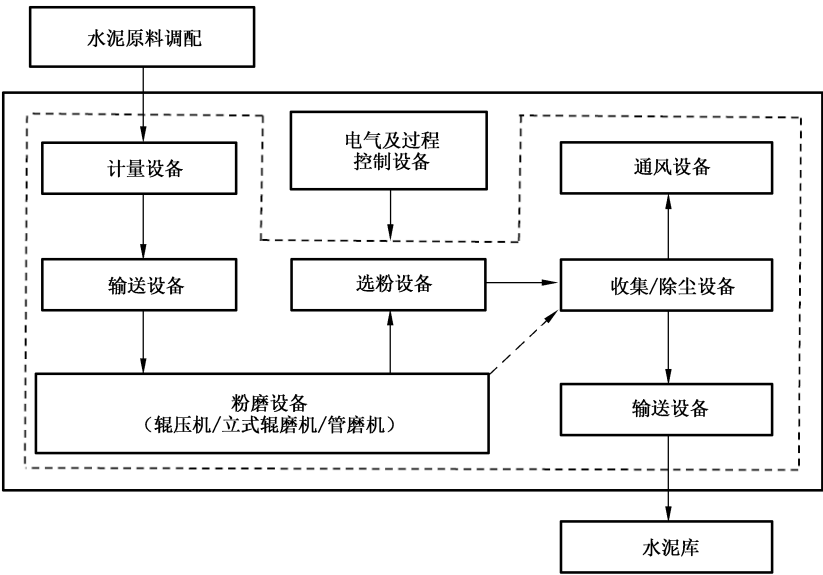


图 3 水泥制备系统能耗测试边界

6.2.1.3 煤粉制备系统

从原煤出原煤仓底到煤粉成品仓顶，见图 4。

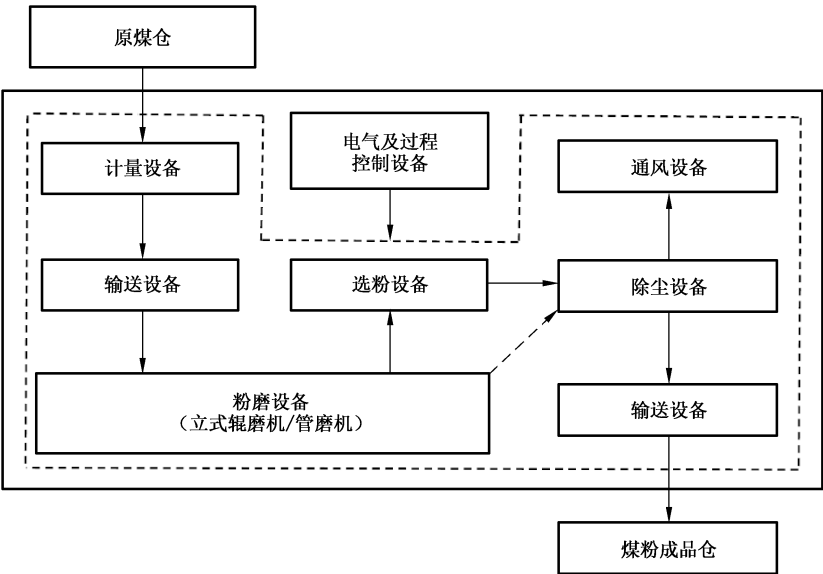


图 4 煤粉制备系统能耗测试边界

6.2.2 测试要求

- 6.2.2.1 测试期间,对煤粉制备系统和生料制备系统,不应改变入磨物料的种类;对水泥制备系统,不应改变混合材的种类和水泥的品种。
- 6.2.2.2 测试次数应不少于 3 次,测试期间不应停磨,否则应重新进行能耗测试。
- 6.2.2.3 测试期间过程控制应满足表 2 要求,测试期间主要生产操作参数不应大幅变动。

表 2 粉磨系统能耗测试过程控制要求

项目	成品水分	比表面积 波动幅度	投料量 控制范围	0.08 mm 筛余细度(%) 控制范围	测试方法
生料制备系统	≤1%	—	目标值±5%	目标值±2	GB/T 50123 GB/T 1345
燃料制备系统	≤2% ^a	—	目标值±5%	目标值±2	GB/T 212 GB/T 1345
水泥制备系统	—	目标值±4%	目标值±5%	目标值±2	GB/T 8074 GB/T 1345
^a 对褐煤来说,成品水分不包含内水。					

6.2.3 测试内容及测试频率

测试内容及测试频率见表 3。如水泥制备系统采用高效选粉机,宜测试选粉机的选粉效率。

表 3 测试内容及测试频率

序号	测定项	测试内容								8 h 测试 频率
		料量	风温	风压	料温	成分 ^a	气流量	含尘量	其他	
1	入磨物料 ^b	●			●				易磨性或可磨性	1 次
2	出磨物料	●			●				细度	1 次
3	入磨气体		●	●		●	●			1 次
4	出磨气体		●	●		●	●			1 次
5	出旋风筒/选粉机气体		●	●		●	●	●		1 次
6	水泥成品								水泥强度 ^c	—
7	环境条件	大气温度、大气压力、环境风速等								
8	电能能耗	系统电耗、供配电系统及运行系统状态								
注：“●”表示该项需要测试。										
^a 气体成分测试按照 GB/T 16157 的规定进行。										
^b 对入磨物料取 3 个 8 h 的混合样进行易磨性试验。煤的可磨性指数按照 GB/T 2565 的规定进行,水泥原料易磨性按照 GB/T 26567 的规定进行。										
^c 水泥强度测试取 3 个 8 h 的水泥成品的混合样按照 GB/T 17671 的规定进行。										

6.2.4 测试及计算方法

粉磨系统测试和计算按照 GB/T 26282 和 GB/T 26281 的规定进行,电耗测试按照 GB/T 27977 的规定进行。

6.2.5 数据处理

根据粉磨系统测试期间的测试数据进行数据处理,各次能耗测试数据之间偏差应小于 5%,否则应重新进行现场测试。

6.2.6 测试结果

粉磨系统能耗测试数据按照 GB/T 26281 汇总成表,测试结果至少包括各点风量、粉尘浓度、粉磨系统电耗、主要用电设备电耗、入磨物料的物性、成分测试结果。

6.3 熟料烧成系统能耗测试

6.3.1 测试边界

从生料出库到熟料入库,见图 5,包括生料入窑计量与输送、预热预分解系统、窑尾高温风机、回转窑、熟料冷却机、窑尾及熟料冷却废气处理和煤粉计量与输送等设备。如配置脱硫脱硝等系统的,电耗应单独统计;系统如配置有氧气制备系统、二氧化碳捕集系统时,单独统计其能耗。采用废弃物作为替代原燃材料时,处理废弃物的能耗应单独统计。不包括用于基建、技改等项目建设消耗的电量。

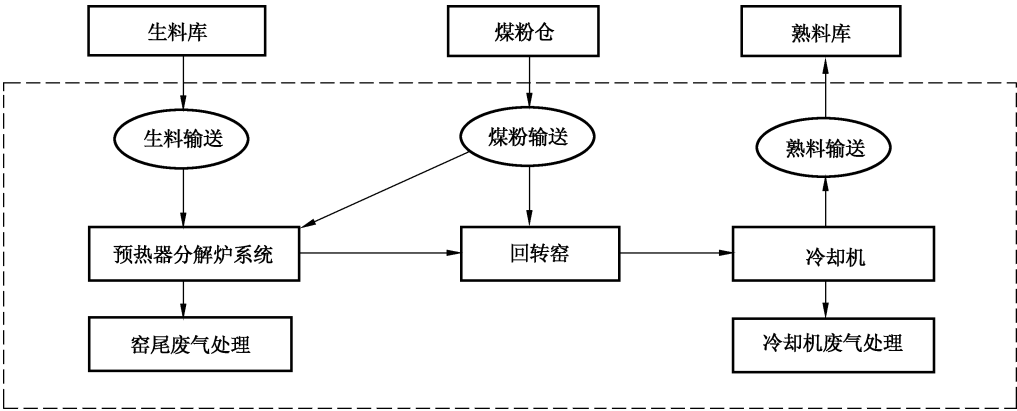


图 5 熟料烧成系统能耗测试边界

6.3.2 测试要求

6.3.2.1 熟料烧成能耗测试应不少于 72 h,且应在正常稳定运行工况下进行。

6.3.2.2 熟料烧成能耗测试时过程控制应满足表 4 的要求。

表 4 熟料烧成系统过程控制要求

名目	项目	控制范围	测试方法
生料	石灰饱和系数 KH(或 LSF)	目标值±0.02(±2)	GB/T 176
	硅酸率 SM	目标值±0.1	GB/T 176
	铝氧率 IM	目标值±0.1	GB/T 176
	0.08 mm 筛余细度	目标值±2%	GB/T 1345
	水分	≤1.0%	GB/T 50123
	投料量	目标值±5%	—
燃料	燃料低位发热量 $Q_{\text{net,ad}}$	目标值±5%	GB/T 213
	0.08 mm 筛余细度	目标值±2%	GB/T 1345
	水分	≤2.0%	GB/T 212
熟料	化学性能和物料性能	质量合格	GB/T 21372

6.3.3 测试内容及测试频率

测试内容及测试频率见表 5。

表 5 测试内容及测试频率

序号	测定项	测试内容									24 h 测试频率
		料量	风温	风压	料温	成分 ^a	气流量	分解率	含尘量	其他	
1	冷却机废气		●	●			●		●		2 次
2	出窑熟料				●						2 次
3	出冷却机熟料 ^b	●			●	●				28 d 强度 ^c	3 次
4	冷却机各室鼓风		●	●			●				2 次
5	入炉三次风		●	●			●				2 次
6	入窑二次风		●								2 次
7	窑头一次风		●	●			●				2 次
8	窑头煤粉输送风		●	●			●				2 次
9	入窑煤粉 ^d	●			●					低位发热量	3 次
10	预热器系统出口烟气		●	●		●	●		●		2 次
11	其他各级出口烟气		●	●		●					抽测
12	入窑尾烟室料管							●			2 次
13	分解炉出口烟气		●	●		●					2 次
14	烟室烟气		●	●		●					2 次
15	入预热器生料 ^e	●			●	●				易烧性	2 次
16	分解炉煤粉输送风		●	●			●				2 次
17	入炉煤粉 ^d	●			●					低位发热量	3 次
18	煤磨抽热风		●	●			●				2 次
19	表面温度	测试边界内各热工设备									1 次
20	环境条件	大气温度、大气压力、环境风速等									2 次
21	用电量	烧成系统用电量,其中窑尾废气处理系统电耗单独统计									3 次
22	供配电系统运行状态	变压器日负荷率、变压器负载系数、功率因数									1 次
23	主要电动机运行状态	功率因数、用电量、运行状态判定									1 次
注:“●”表示该项需要测试。											
^a 气体成分测试按照 GB/T 16157 的规定进行。 ^b 采用全天混合样测试熟料的成分。 ^c 28 d 强度采用全天混合样,测试按照 GB/T 21372 的规定进行。 ^d 采用全天混合样测试低位发热量。 ^e 采用全天混合样测试生料成分和易烧性,易烧性测试按照 GB/T 26566 的规定进行。											

6.3.4 测试及计算方法

烧成系统能耗的测试和计算按照 GB/T 26282、GB/T 26281 的规定进行,电耗测试按照 GB/T 27977 的规定进行。燃料消耗量根据煤粉喂煤秤累计值计算,熟料产量宜通过生料计量秤累计值和生熟料折合系数计算,生熟料折合系数计算方法应符合附录 C 的规定。熟料产量或根据实物放料计量确定,也可以按照实物盘库计量,方法应符合附录 D 的规定。

6.3.5 数据处理

根据每 24 h 的测试数据进行数据处理,3 组 24 h 能耗测试数据之间偏差应小于 5%,同时按照 GB/T 26281 热平衡表中“其他支出”计算值 Q_{qt} 应在 $\pm 3\%$ 之间,否则应重新进行数据测试。

6.3.6 测试结果

熟料烧成系统能耗测试数据按照 GB/T 26281 汇总成表,宜计算物料平衡、热平衡和冷却机热平衡。数据汇总应包括熟料烧成系统煤耗、熟料烧成系统电耗、熟料综合热耗、熟料单位产品综合能耗、熟料单位产品综合电耗,宜增加供配电系统运行状态和主要电动机运行状态判定结果等内容。

6.4 余热发电系统能效测试

6.4.1 测试边界

从余热发电系统的余热锅炉进口至汽轮机及冷却塔,见图 6。

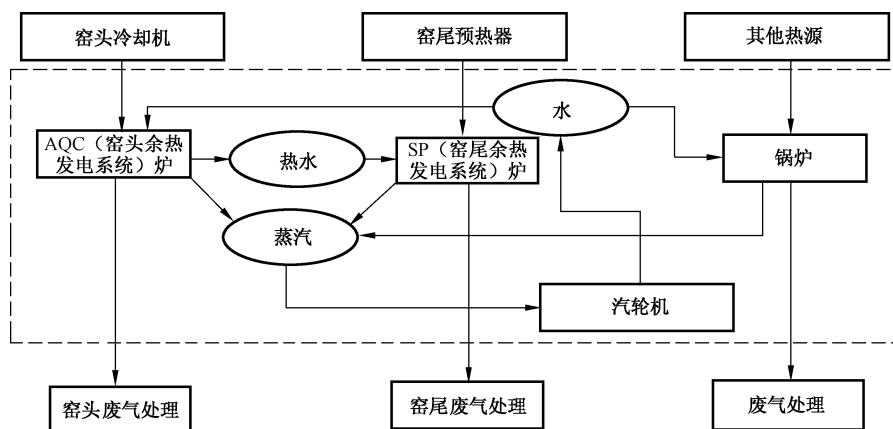


图 6 余热发电系统能效测试边界

6.4.2 测试要求

6.4.2.1 余热发电系统能效测试期间应统计核算熟料烧成系统产量、电耗和烧成煤耗,烧成系统产量和余热发电系统发电量不应大幅波动;测试应不少于 72 h,且应在水泥熟料烧成系统和余热发电系统正常稳定运行工况下进行,即测试期间窑和余热发电系统不应停止运行,否则应重新进行能效测试。

6.4.2.2 余热发电系统能效测试时熟料烧成系统过程控制应满足表 4 的要求。

6.4.2.3 余热发电系统热工参数的测试应按照 GB/T 26282 的规定进行。

6.4.3 测试内容及测试频率

余热发电系统能效测试内容及频率见表 6,所有用于余热发电的热源都应进行测试。

表 6 余热发电系统能效测试内容及测试频率

序号	测定项	测试内容						24 h 测试 频率
		风压	风温	气流量	成分	含尘量	其他	
1	冷却机废气	●	●	●		●		2 次
2	入 AQC 炉废气	●	●	●		●		2 次
3	出 AQC 炉废气	●	●	●				2 次
4	入 SP 炉废气	●	●	●	●	●		2 次
5	出 SP 炉废气	●	●	●	●			2 次
6	表面温度 ^a	包括：AQC 炉、SP 炉和连接管道						2 次
7	环境条件	大气温度、大气压力、环境风速等						2 次
8	电能能耗	余热发电系统发电量、自用电量、供配电系统及运行系统状态						1 次
注：“●”表示该项需要测试。								
^a 如果回转窑筒体散热用于发电，应测试筒体表面温度。								

6.4.4 测试及计算方法

余热发电系统热效率的计算方法应符合附录 E 的规定。

6.4.5 数据处理

根据每 24 h 的测试数据进行数据处理，3 组 24 h 能效测试结果之间相差应不大于 5%，否则应重新进行能效测试。

6.4.6 测试结果

余热发电系统能效测试参数按照 GB/T 26281 汇总成表，测试结果应包含余热发电系统热效率和余热发电能耗比。

6.5 水泥包装及发运系统能耗测试

6.5.1 测试边界

水泥包装及水泥发运系统测试边界为从水泥出水泥库至水泥出厂。

6.5.2 测试要求

水泥包装及发运系统在包装及发运系统稳定运行的情况下，电耗统计的时间应不少于 7 d。

6.5.3 测试内容

主要测试电耗，能耗测试按照 GB/T 27977 的要求进行，测试结果应按照 GB 16780 折算为水泥制备工段电耗。

6.5.4 测试及计算方法

能耗测试主要以水泥企业统计为主，主要统计系统电耗及对应包装及散装的水泥产量。

6.5.5 测试结果

水泥包装及发运系统能耗测试结果主要为系统电耗。能耗测试参数以系统内各电力室、变压器及高压设备的电量消耗量 and 对应产量列表表示。

6.6 协同处置系统能耗测试

6.6.1 测试边界

系统测试边界为协同处置废弃物进厂至进入烧成系统为止,包括物料破碎、筛分、预处理(陈化、减量化)、废水处理装置、入窑计量等。

6.6.2 测试要求

协同处置系统能耗测试期间应统计核算熟料烧成系统产量、电耗和烧成煤耗,烧成系统产量和协同处置系统处置量不应大幅波动;测试次数应不少于3次,每次测试时间不少于24 h,且应在水泥熟料烧成系统和协同处置系统正常稳定运行工况下进行,即测试期间窑和协同处置系统不应停止运行,否则应重新进行能效测试。

6.6.3 测试内容及计算方法

主要测试协同处置系统内各设备电能消耗量。电能消耗测试按照 GB/T 27977 规定的方法执行,测试结果应折算为物料单位处置能耗或入窑废弃物单位物料量处置电耗($\text{kW} \cdot \text{h/t}$)。

6.6.4 数据处理

根据每24 h的测试数据进行数据处理,3组24 h能效测试结果之间相差应不大于5%,否则应重新进行能效测试。

6.6.5 测试结果

协同处置系统能耗测试结果主要为系统电耗。能耗测试参数以系统内各电力室、变压器及高压设备的电量消耗量 and 对应产量列表表示。

6.7 替代燃料系统能耗测试

6.7.1 测试边界

替代燃料包括水泥窑熟料生产过程中被用作热源的可燃废物、氢能源、化工园区有热值尾气等。系统测试边界为替代燃料进厂至进入烧成系统为止,包括物料破碎、筛分、预处理(陈化、减量化)、废水处理装置、入窑计量、输送、旁路放风等。

6.7.2 测试要求

替代燃料系统能耗测试期间应统计核算熟料烧成系统产量、电耗和烧成煤耗,烧成系统产量和替代燃料系统处置量不应大幅波动;测试次数应不少于3次,每次测试时间不少于24 h,且应在水泥熟料烧成系统和替代燃料系统正常稳定运行工况下进行,即测试期间窑和替代燃料系统不应停止运行,否则应重新进行能效测试。

6.7.3 测试内容及测试频率

主要测试替代燃料系统内设备的电能消耗量以及燃料替代率。测试内容及测试频率见表7。

表 7 测试内容及测试频率

序号	测定项	测试内容						24 h 测试 频率
		料量	风温	风压	料温	气流量	其他	
1	窑头替代燃料输送风		●	●		●		2 次
2	入窑替代燃料 ^a	●			●		低位发热量 ^b	3 次
3	分解炉替代燃料输送风		●	●		●		2 次
4	入炉替代燃料 ^a	●			●		低位发热量 ^b	3 次
5	用电量	替代燃料系统用电量						3 次
注：“●”表示该项需要测试。								
^a 采用全天混合样测试低位发热量。								
^b 固体替代燃料发热量应按照 GB/T 30727 的要求测定，液体燃料发热量应按照 GB/T 384 的要求测定。								

6.7.4 测试及计算方法

电能消耗量的统计应符合 GB/T 27977 的要求，测试结果应折算为物料单位处置能耗或入窑替代燃料单位物料量处置电耗(kW·h/t)。固体替代燃料发热量应按照 GB/T 30727 的要求测定，液体燃料发热量应按照 GB/T 384 的要求测定。燃料替代率的计算按式(1)进行计算。

$$TSR = \frac{\sum_i^n (m_{irAF} \times Q_{irAF}) \times 1\,000}{P_{sh} \times Q_{rR} \times 1\,000} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中：

TSR —— 统计报告期内燃料替代率；

m_{irAF} —— 统计报告期内第 i 种替代燃料使用量，单位为吨(t)；

Q_{irAF} —— 统计报告期内第 i 种替代燃料收到基低位发热量，单位为千焦每千克(kJ/kg)；

P_{sh} —— 统计报告期内符合 GB/T 21372 的要求的水泥熟料产品总量，单位为吨(t)；

Q_{rR} —— 统计报告期内熟料烧成热耗，单位为千焦每千克(kJ/kg)。

6.7.5 数据处理

根据每 24 h 的测试数据进行数据处理，3 组 24 h 能效测试结果之间相差应不大于 5%，否则应重新进行能效测试。

6.7.6 测试结果

替代燃料系统能耗测试结果主要为系统电耗和燃料替代率。能耗测试参数以系统内各电力室、变压器及高压设备的电量消耗量 and 对应产量列表表示。

6.8 脱硫脱硝系统能耗测试

6.8.1 测试边界

系统测试边界为脱硫脱硝原料进厂至进入烧成系统为止。

6.8.2 测试要求

脱硫脱硝环保系统能耗测试期间应统计核算熟料烧成系统产量、电耗和烧成煤耗，烧成系统产量、协同处置系统处置量和替代燃料系统处置量不应大幅波动；测试次数应不少于 3 次，每次测试时间不少

于 24 h,且应在水泥熟料烧成系统、协同处置系统和替代燃料系统正常稳定运行工况下进行,即测试期间窑、协同处置系统和替代燃料系统不应停止运行,否则应重新进行能效测试。

6.8.3 测试内容及计算方法

主要测试脱硫脱硝系统内各设备电能消耗量。电能消耗测试按照 GB/T 27977 规定的方法执行,测试结果应为每吨熟料单位产品耗能量(kW·h/t)。

6.8.4 数据处理

根据每 24 h 的测试数据进行数据处理,3 组 24 h 能效测试结果之间相差应不大于 5%,否则应重新进行能效测试。

6.8.5 测试结果

脱硫脱硝系统能耗测试结果主要为系统电耗。能耗测试参数以系统内各电力室、变压器及高压设备的电量消耗量 and 对应产量列表表示。

6.9 辅助生产系统能耗测试

6.9.1 测试边界

包括总降电力室、空压机、水泵房、厂区照明、中控室、化验室、机修车间等辅助生产系统。

6.9.2 测试要求

6.9.2.1 在整条生产线稳定运行的条件下,辅助生产系统电耗统计的时间应不少于 7 d。

6.9.2.2 辅助生产系统在生产线烧成系统和各粉磨系统正常运行的工况下运行。

6.9.3 测试内容及计算方法

主要测试辅助生产系统电能消耗,有厂内运输系统的,应统计其各类能源消耗量,并折算为标准煤量。能耗测试主要以统计为主,对主要用电设备可按照 GB/T 27977 进行抽测。测试期内的电能和其他能源消耗总量及对应的水泥或熟料合格产品产量,折算至每吨水泥或熟料单位产品耗能量。

6.9.4 测试结果

辅助生产系统能耗测试结果主要为系统电耗。能耗测试参数以系统内各电力室、变压器及高压设备的电量消耗量 and 对应产量列表表示。

7 单位产品能耗计算

熟料单位产品综合能耗和水泥单位产品综合能耗的统计范围按照 GB 16780 的规定,分段统计边界见表 8。

表 8 单位产品能耗及分段统计边界

项目	分段统计边界
熟料单位产品综合能耗	参照图 1 中的原燃料预处理系统、生料制备系统、煤粉制备系统、熟料烧成系统、替代燃料系统、余热发电系统、辅助生产系统进行测试
水泥单位产品综合能耗	参照图 1 中的原燃料预处理系统、生料制备系统、煤粉制备系统、熟料烧成系统、替代燃料系统、余热发电系统、水泥制备系统、水泥包装及发运系统、辅助生产系统进行测试

8 测试报告

测试报告应至少包括以下内容：

- a) 水泥生产线总体情况,包括生产规模,投产运行时间、系统主机配置等;
- b) 测试任务和目的要求,测试范围划分和确定、系统运行参数等,测试依据的法规、标准;
- c) 测试内容、测试频率,检测、计量仪器仪表的配备说明(包括量程、精度等);燃料、水(介质)、电、运行参数等检测、计量方法;
- d) 测试数据汇总、测试周期内生产线原燃料情况;
- e) 能耗测试结果汇总表,包括但不限于和 GB 16780 规定的单位产品能源消耗指标值对照表;
- f) 系统能耗测试结果分析。

附 录 A
(资料性)
能耗测试基本情况表

A.1 熟料烧成系统基本情况表

熟料烧成系统基本情况表包括以下内容：

- a) 烧成系统工艺图及设备表；
- b) 生产线烧成系统设计指标；
- c) 烧成系统近期生产质量报表；
- d) 近期水泥熟料烧成系统 72 h 稳定运行的中控室操作记录；
- e) 配电变压器的铭牌参数、主要电动机的铭牌参数；
- f) 配电系统图；
- g) 电能计量器具配置图及各电能表的倍率。

A.2 粉磨系统基本情况表

粉磨系统基本情况表包括以下内容：

- a) 粉磨系统工艺图及设备表；
- b) 粉磨系统设计参数和实际运行报表；
- c) 近期粉磨系统 72 h 稳定运行的中控室操作记录；
- d) 配电变压器的铭牌参数、主要电动机的铭牌参数；
- e) 配电系统图；
- f) 电能计量器具配置图及各电能表的倍率。

A.3 余热发电系统基本情况表

余热发电系统基本情况表包括以下内容：

- a) 余热发电系统工艺图及设备表；
- b) 余热发电系统相关设计参数；
- c) 余热发电系统近期生产运行报表；
- d) 近期余热发电系统 72 h 稳定运行的中控室操作记录；
- e) 进行电能能效测试所需提供的其他资料。

A.4 原燃料预处理系统基本情况表

原燃料预处理系统基本情况表包括以下内容：

- a) 预处理系统物料处理量、主机系统配置等设计指标；
- b) 预处理系统统计期电量消耗报表；
- c) 近期预处理系统操作运行记录；
- d) 进行电能能效测试所需提供的其他资料；
- e) 配电变压器的铭牌参数、主要电动机的铭牌参数；
- f) 配电系统图；
- g) 电能计量器具配置图及各电能表的倍率。

A.5 水泥包装及发运系统基本情况表

水泥包装及发运系统基本情况表包括以下内容：

- a) 水泥包装及发运系统主机系统配置等设计指标；
- b) 水泥包装及发运系统统计期电量消耗报表；
- c) 水泥包装及发运系统操作运行记录；
- d) 进行电能能效测试所需提供的其他资料；
- e) 配电变压器的铭牌参数、主要电动机的铭牌参数；
- f) 配电系统图；
- g) 电能计量器具配置图及各电能表的倍率。

A.6 协同处置系统基本情况表

协同处置系统基本情况表包括以下内容：

- a) 协同处置系统物料处理量、主机系统配置等设计指标；
- b) 协同处置系统统计期电量消耗报表；
- c) 近期协同处置系统操作运行记录；
- d) 进行电能能效测试所需提供的其他资料；
- e) 配电变压器的铭牌参数、主要电动机的铭牌参数；
- f) 配电系统图；
- g) 电能计量器具配置图及各电能表的倍率。

A.7 替代燃料系统基本情况表

替代燃料系统基本情况表包括以下内容：

- a) 替代燃料系统主机系统配置等设计指标；
- b) 替代燃料系统统计期电量消耗报表；
- c) 近期替代燃料系统操作运行记录；
- d) 配电变压器的铭牌参数、主要电动机的铭牌参数；
- e) 配电系统图；
- f) 电能计量器具配置图及各电能表的倍率。

A.8 脱硫脱硝系统基本情况表

脱硫脱硝系统基本情况表包括以下内容：

- a) 脱硫脱硝系统主机系统配置等设计指标；
- b) 脱硫脱硝系统统计期电量消耗报表；
- c) 近期脱硫脱硝系统操作运行记录；
- d) 配电变压器的铭牌参数、主要电动机的铭牌参数；
- e) 配电系统图；
- f) 电能计量器具配置图及各电能表的倍率。

A.9 辅助生产系统基本情况表

辅助生产系统基本情况表包括以下内容：

- a) 辅助生产系统主机系统配置等设计指标；
- b) 辅助生产系统统计期电量消耗报表；

- c) 近期辅助生产系统操作运行记录；
- d) 配电变压器的铭牌参数、主要电动机的铭牌参数；
- e) 配电系统图；
- f) 电能计量器具配置图及各电能表的倍率。

附 录 B
(资料性)
水泥制造能耗测试大纲

B.1 项目名称

项目名称如“××公司×××× t/d 生产线××系统能耗测试大纲”。

B.2 测试内容

根据测试的目的与要求、生产线工艺流程系统和设备的特点确定测试内容。

B.3 测点位置、测试内容、测试仪器与测试人员安排

测点位置、测试项目、测试仪器与测试人员安排参照表 B.1 制定。

表 B.1 测点位置、测试频率、测定仪器与测试人员安排

序号	分组	测点位置	测试项目	测试仪器	测试人员
1					
2					
3					

B.4 测试安排及工作内容

测试安排及工作内容见表 B.2。

表 B.2 能耗测试安排与内容计划表

序号	日期安排	工作内容	备注与说明
1			
2			
3			

附 录 C
(规范性)
生熟料折合系数计算方法

C.1 干生料的理论生熟料折合系数

干生料的理论生熟料折合系数计算见公式(C.1)。

$$m_s = \frac{100 - m_r \cdot A_{ar}}{100 - L_1} \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:

m_s ——干生料的理论生熟料折合系数,单位为千克每千克(kg/kg);

m_r ——单位熟料煤粉消耗量,单位为千克每千克(kg/kg);

A_{ar} ——烧成用煤的收到基灰分,%;

L_1 ——入预热器系统生料烧失量,%。

C.2 单位熟料煤粉消耗量

单位熟料煤粉消耗量计算见公式(C.2)。

$$m_r = \frac{M_r}{M_{sh}} \dots\dots\dots (C.2)$$

式中:

M_r ——每小时煤粉消耗量,单位为千克每小时(kg/h);

M_{sh} ——每小时熟料产量,单位为千克每小时(kg/h)。

C.3 干生料的实际生熟料折合系数

干生料的实际生熟料折合系数计算见公式(C.3)。

$$m_{s1} = m_s + c_1 \cdot V_1 \cdot \frac{100 - L_2}{(100 - L_1) \cdot 1\,000} \dots\dots\dots (C.3)$$

式中:

m_{s1} ——干生料的实际生熟料折合系数,单位为千克每千克(kg/kg);

c_1 ——窑尾预热器出口废气粉尘浓度,单位为克每立方米(g/m³);

V_1 ——窑尾预热器出口单位熟料废气量,单位为立方米每千克(m³/kg);

L_2 ——窑尾预热器出口飞灰烧失量,%。

C.4 湿生料的实际生熟料折合系数

湿生料的实际生熟料折合系数计算见公式(C.4)。

$$m_{s2} = m_{s1} / (1 - w_s / 100) \dots\dots\dots (C.4)$$

式中:

m_{s2} ——湿生料的实际生熟料折合系数,单位为千克每千克(kg/kg);

w_s ——生料含水率,%。

上述计算基于以下假定:

a) 入窑煤粉的灰分全部沉积于出窑熟料中,即煤灰沉落率为100%;

- b) 出预热器飞灰回到原料磨或均化库中,根据理论分析,生熟料折合系数应相当于湿生料的实际料耗。

综上所述,湿生料的实际生熟料折合系数计算见公式(C.5)。

$$m_{s2} = \left[\frac{100 - m_r \cdot A_{ar}}{100 - L_1} + c_1 \cdot V_1 \cdot \frac{100 - L_2}{1\,000 \times (100 - L_1)} \right] / (1 - w_s/100) \quad \dots\dots (C.5)$$

附 录 D

(规范性)

熟料产量实物计量方法

D.1 部分熟料产量实物放料计量方法

在熟料烧成系统 72 h 能耗测试期间,采用同一台生料喂料秤计量生料消耗量。每 24 h 内取 4 h~8 h 时间段生产的熟料外排,同时记录生料消耗量,将外排的熟料称量得到熟料产量。由此计算生熟料折合系数,生熟料折合系数计算见公式(D.1)。

$$m_{s2} = M_s / M_{sh} \dots\dots\dots (D.1)$$

式中:

M_s ——每小时熟料实物放料期间的生料消耗量,单位为千克每小时(kg/h)。

三次计算的生熟料折合系数相差不应超过 3%,根据三次生熟料折合系数的算术平均值和每 24 h 生料消耗量计算熟料产量。

D.2 全部熟料产量实物放料计量方法

在熟料烧成系统 72 h 能耗测试期间,将 72 h 生产的所有熟料外排,经称量后得到 72 h 生产的熟料总量。

D.3 熟料产量实物盘库计量方法

熟料产量实物计量方法可采用实物盘库计量方法,参考《企业温室气体排放核算与报告指南 水泥行业》,将不少于 3 个月、3 次的盘库数据作为生熟料系数的依据,得到 72 h 生产的熟料总量。具体方法如下:

- a) 人工盘库:以所测实际空深作为计算依据,根据各库有效堆料高度扣除平均空深为物料实际平均高度,乘以所测单库横截面积和物料容重得出该库盘点时刻库存数,调整实测时段物料进出库数量,计算出统一截止时间的实际库存;
- b) 智能盘库:通过三维成像雷达等电子设备配合算法对熟料库内料面进行三维建模成像,实时对物料体积进行分区盘点,并根据物料容重对质量进行计算;
- c) 熟料容重按各企业规定的物料容重监测方法执行;应确保熟料取样具有代表性,并保留容重测试确定的相关记录。

附录 E

(规范性)

余热发电系统热效率计算方法

余热发电系统热效率计算见公式(E.1)。

$$\eta = (D \times 3\,600) / \sum Q_i \quad \dots\dots\dots (E.1)$$

式中：

η ——余热发电系统热效率，%；

D ——余热发电系统输出功率，单位为千瓦(kW)；

$\sum Q_i$ ——每小时可用于发电的总余热量，单位为千焦每小时(kJ/h)。

可用于发电的总余热量 $\sum Q_i$ 计算见公式(E.2)。

$$\sum Q_i = Q_{sp} + Q_{AQC} + Q_{tt} + Q_{qt} \quad \dots\dots\dots (E.2)$$

式中：

Q_{sp} ——每小时可用于发电的窑尾废气余热，单位为千焦每小时(kJ/h)；

Q_{AQC} ——每小时可用于发电的窑头废气余热，单位为千焦每小时(kJ/h)；

Q_{tt} ——每小时用于发电的窑筒体废热热量，单位为千焦每小时(kJ/h)；

Q_{qt} ——每小时用于发电的其他热量，单位为千焦每小时(kJ/h)。

可用于发电的窑尾废气余热 Q_{sp} 计算见公式(E.3)。

$$Q_{sp} = V_{zs} (T_{js} \times C_{tjs} - T_{hs} \times C_{ths}) + V_{ys} (T_{hs} \times C_{ths} - 135 \times 1.42) \quad \dots\dots\dots (E.3)$$

式中：

V_{zs} ——每小时窑尾预热器排出的废气量折合的标况体积，单位为立方米每小时(m^3/h)；

T_{js} ——窑尾预热器排出的废气平均温度，单位为摄氏度($^{\circ}C$)；

C_{tjs} ——对应于 T_{js} 的窑尾废气体积比热容，单位为千焦每立方米摄氏度 $[kJ/(m^3 \cdot ^{\circ}C)]$ ；

T_{hs} ——物料烘干所需要的废气平均温度，单位为摄氏度($^{\circ}C$)；

C_{ths} ——对应于 T_{hs} 的窑尾废气体积比热容，单位为千焦每立方米摄氏度 $[kJ/(m^3 \cdot ^{\circ}C)]$ ；

V_{ys} ——每小时扣除物料烘干所需窑尾废气量后剩余窑尾废气量折合的标况体积，单位为立方米每小时(m^3/h)；

135 ——扣除物料烘干所需窑尾废气量后剩余的窑尾废气进入收尘器金属构件不结露的允许最低温度，单位为摄氏度($^{\circ}C$)；

1.42 ——对应于135 $^{\circ}C$ 的窑尾废气体积比热容，单位为千焦每立方米摄氏度 $[kJ/(m^3 \cdot ^{\circ}C)]$ 。

可用于发电的窑头废气余热 Q_{AQC} 计算见公式(E.4)。

$$Q_{AQC} = V_{ZA} (T_{jA} \times C_{tjA} - T_l \times C_{tl}) \quad \dots\dots\dots (E.4)$$

式中：

V_{ZA} ——每小时电站不投入运行时冷却机排入大气废气量折合的标况体积，单位为立方米每小时(m^3/h)；

T_{jA} ——电站不投入运行时冷却机出口排入大气的废气平均温度，单位为摄氏度($^{\circ}C$)；

C_{tjA} ——对应于 T_{jA} 的冷却机出口排入大气的废气体积比热容，单位为千焦每立方米摄氏度 $[kJ/(m^3 \cdot ^{\circ}C)]$ ；

T_l ——余热锅炉最低工段—热水段理论上废气温度的下限值，视系统配置不同通常在80 $^{\circ}C$ ～120 $^{\circ}C$ ，计算取值为100 $^{\circ}C$ ；

C_{tl} ——对应于 T_l 的废气体积比热容，单位为千焦每立方米摄氏度 $[kJ/(m^3 \cdot ^{\circ}C)]$ 。

对于窑筒体废热热量 Q_{tt} ，目前有部分水泥工厂进行了部分回收，但未用于发电，其他绝大部分水泥

工厂都未回收。当将窑筒体废热热量回收并用于发电时,计算发电系统热效率应按实际回收的窑筒体废热热量计算。

对于不同的余热发电技术或不同的水泥工厂,其用于发电的热量除预热器出口废气和冷却机出口废气热量外,有可能还利用其他热量 Q_{qt} ,如为了多发电,利用窑系统的部分二次风或三次风进行发电,应将用于发电的二次风、三次风的热量计入发电用热量。

参 考 文 献

- [1] CETS—AG—02.01—V01—2024 企业温室气体排放核算与报告指南 水泥行业
-