



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX

节能量测量和验证技术要求 水泥余热发电项目

Technical requirements of measurement and verification of energy savings,
waste heat power generation projects in cement production

(征求意见稿)

2014. 3. 6

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

前 言

本标准按照GB/T 1.1-2009给出的规则起草。

本标准由全国能源基础与管理标准化技术委员会（SAC/TC 20）提出并归口。

本标准起草单位：

本标准主要起草人：

节能量测量和验证技术要求 水泥余热发电项目

1 范围

本标准规定了水泥余热发电项目节能量测量和验证的项目边界、计算方法、相关参数的测量和验证方法以及节能量的不确定度分析。

本标准适用于利用水泥熟料生产系统废气进行余热发电的节能改造项目节能量确定。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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 16780 水泥单位产品能源消耗限额

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 27977 水泥生产电能能效测试及计算方法

GB/T 28750-2012 节能量测量和验证技术通则

JJF 1059.1 测量不确定度评定与表示

CBMF 1 水泥制造能效测试技术规程

3 术语与定义

GB/T 28750-2012确立的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

窑尾余热锅炉 suspend preheater boiler(SP boiler)

利用窑尾预热器排出的废气余热生产热水、蒸汽等工质的换热装置，简称 SP 或 PH 炉。

3.2

窑头余热锅炉 air quenching cooler boiler(AQC boiler)

利用窑头熟料冷却机排出的废气余热生产热水、蒸汽等工质的换热装置，简称 AQC 炉。

3.3

余热发电 waste heat power generation

仅利用工业生产过程中排放的余热进行发电，也称纯余热发电。

3.4

单位熟料综合能耗 the comprehensive energy consumption of unit throughput of clinker

生产每吨熟料的燃料消耗折算成标准煤，包括烘干原燃材料和烧成熟料消耗的燃料。

4 项目边界

水泥余热发电项目的项目边界主要包括水泥熟料烧成系统和余热发电系统两部分。水泥熟料烧成系统从冷却机熟料出口到预热器废气出口的整个熟料烧成过程，主要包括冷却机、回转窑、分解炉和预热分解系统；余热发电系统从余热锅炉进口至汽轮机及冷却塔的整个余热发电系统，主要包括SP（PH）余热锅炉、AQC余热锅炉、汽轮机组、发电机组及冷却塔。项目边界示意图见图1。

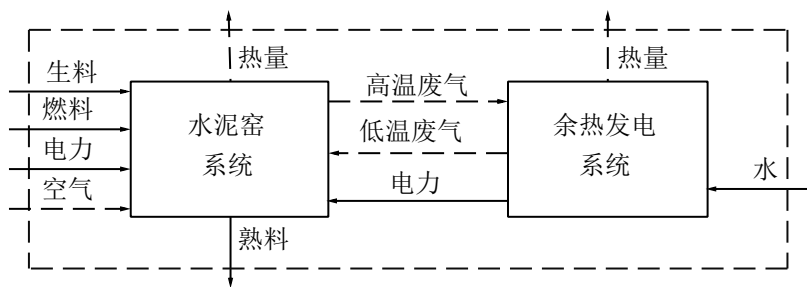


图1 节能量项目边界示意图

5 节能量计算原则

5.1 计算节能量的基本公式

按照GB/T 28750-2012的4.2给出的公式(1) 计算，

$$E_s = E_r - E_a \tag{1}$$

式中：

- E_s —水泥余热发电项目节能量，单位为吨标准煤（tce）；
- E_r —水泥余热发电项目统计报告期能耗，单位为吨标准煤（tce）；
- E_a —水泥余热发电项目校准能耗，单位为吨标准煤（tce）。

5.2 基期和统计报告期

基期数据采用企业生产统计报表时，应统计余热发电系统投入前一年的报表数据。报告期数据应采用余热发电系统稳定运行后一年的数据。相关各方也可根据实际情况另行约定。

6 测量和验证方法

6.1 “基期能耗-影响因素”模型法

6.1.1 适用条件

“基期能耗—影响因素”模型法适用于通过测量、计量手段可以获得基期和统计报告期能耗及相关影响因素数据的各类水泥余热发电项目。

6.1.2 校准能耗的计算

水泥余热发电项目校准能耗的计算公式为：

$$E_a = [\alpha K(e_{he} - e_{qt}) + e_b] \times P_{CL}' \quad (2)$$

式中：

e_{he} —余热发电量折算的标准煤耗，单位为千克标准煤每吨（kgce/t）；

e_b —基期修正后的单位熟料综合能耗，单位为千克标准煤每吨（kgce/t）；

α —统计报告期内熟料强度等级修正系数；

K —海拔修正系数；

e_{qt} —统计报告期内除余热发电外采用其他节能措施引起的节能量，单位为千克标准煤每吨（kgce/t）；

P_{CL}' —统计报告期内熟料总产量，单位为吨（t）。

注 1：如果企业的窑系统在统计报告期内又采用了其他的节能措施，在计算余热发电节能量时应扣除由于这种节能措施引起的节能量，节能措施的节能量可参考相关标准规范确定。

注 2：当某些生产企业采用两条或多条水泥熟料生产线共用发电机组时，如每条生产线都有其他节能措施，在计算 e_{qt} 时应按每条生产线的熟料产量计算加权平均值。

注 3：当某些生产企业采用两条或多条水泥熟料生产线共用发电机组时，应单独计算每条生产线单位熟料综合能耗，并按每条生产线的熟料产量计算加权平均值后计算余热发电项目的校准能耗。

6.1.3 节能量的计算

按照公式（1）计算节能量。

6.1.4 数据的计算和获得

6.1.4.1 单位熟料综合能耗的计算

基期和统计报告期内单位熟料综合能耗按式（3）计算：

$$e_{cl} = \frac{P_C Q_{net,ar}}{Q_{BM} P_{CL}} \quad (3)$$

式中：

e_{cl} —单位熟料综合能耗，单位为千克标准煤每吨（kgce/t）；

P_C —一定时期内用于烘干原燃材料和烧成熟料的入窑与入分解炉的实物煤总量，单位为千克（kg）；

$Q_{net,ar}$ —实物煤的加权平均低位发热量，单位为千焦每千克（kJ/kg）；

Q_{BM} —每千克标准煤发热量，取 29307kJ/kg；

P_{CL} —一定时期内熟料产量，单位为吨（t）。

6.1.4.2 余热发电折算单位熟料标准煤量

余热发电量折算单位熟料标准煤按式（4）计算：

$$e_{he} = \frac{c \times (q_{he} - q_0)}{P_{CL}'} \quad (4)$$

式中：

c —电力当量折标准煤系数, 0.1229 kgce/kWh;

q_{hc} —统计报告期内余热电站发电量, 单位为千瓦时 (kW h);

q_0 —统计报告期内余热电站自用电量, 单位为千瓦时 (kW h)。

6.1.4.3 熟料强度等级修正系数

熟料强度等级修正系数按式 (5) 计算:

$$\alpha = \sqrt[4]{\frac{52.5}{A}} \dots\dots\dots (5)$$

式中:

A —熟料平均 28d 抗压强度, 按 GB 16780 附录 A 的规定计算, 单位为兆帕 (MPa);

52.5—熟料平均 28d 抗压强度修正到 52.5MPa。

6.1.4.4 海拔修正系数

水泥企业所在地海拔高度超过 1000m 时进行海拔修正, 海拔修正系数按式 (6) 计算:

$$K = \sqrt{\frac{P_H}{P_0}} \dots\dots\dots (6)$$

式中:

P_0 —海平面环境大气压, 101325 帕 (Pa);

P_H —当地环境大气压, 单位为帕 (Pa)。

当同一家水泥企业在不同时间段内进行余热发电节能量计算时, 不用计算海拔修正系数; 当不同水泥企业间进行余热发电节能量比较时, 应根据企业所在地的海拔高度来确定是否需要计算海拔修正系数。

6.1.4.5 修正后单位熟料综合能耗

修正后基期单位熟料综合能耗按式 (7) 计算:

$$e_b = \alpha_b K e_{\text{clb}} \dots\dots\dots (7)$$

α_b —基期熟料强度等级修正系数;

e_{clb} —基期单位熟料综合能耗。

修正后的统计报告期单位熟料综合能耗按式 (8) 计算:

$$e_r = \alpha_r K e_{\text{clr}} \dots\dots\dots (8)$$

e_r —统计报告期修正后的单位熟料综合能耗, 单位为千克标准煤每吨 (kgce/t);

e_{clr} —统计报告期单位熟料综合能耗;

α_r —统计报告期熟料强度等级修正系数。

6.1.4.6 基期单位熟料综合能耗的确定

基期单位熟料综合能耗可采用余热发电系统投入前一年的生产统计报表（盘点）数据。

6.1.4.7 统计报告期综合能耗的确定

统计报告期综合能耗的确定可采用以下方法：

- a) 余热发电系统投入并正常运行后一年的生产统计报表（盘点）数据。如果在统计报告期内企业有由具有相应检测资质认定机构出具的热工检测报告或能源审计报告，也可采用报告数据。
- b) 对窑系统和余热发电系统进行实际测量，具体的测量方法见附录 A。

6.1.4.8 对余热发电系统参数的验证

余热发电系统的发电量和自用电量应采用实际监测的方法进行验证，测量方法依据 GB/T 27977。

6.2 直接比较法

6.2.1 适用条件

适用于企业不能提供准确、完整的基期生产报表数据或余热发电系统和水泥窑系统同时投产运行的水泥熟料生产企业。前提条件应保证关闭余热发电系统前后窑系统的生产工况一致，且关闭余热发电系统不影响窑系统的正常运行。

6.2.2 节能量计算

采用直接比较法的项目节能量计算按照以下步骤进行，

- a) 在统计报告期内，余热发电系统开启时，测量典型工况下窑系统总能耗（ $E_{on,i}$ ）；
- b) 在统计报告期内，余热发电系统关闭时，测量典型工况下窑系统总能耗（ $E_{off,i}$ ）；
- c) 典型情况的选取，应覆盖窑系统运行负荷、运行时间、熟料强度等主要影响因素的极大值、极小值与平均值；余热发电系统开启和关闭时典型工况下对应的能耗影响因素值偏差允许范围应由相关方事先约定。
- d) 将各典型情况下的 $E_{on,i}$ 和 $E_{off,i}$ 作为输入数据，根据测量和验证方案中约定的计算方法分别

确定 E_r 和 E_a ；

- e) 由式（1）计算 E_s 。

6.2.3 数据的收集、测量和验证

数据的收集、测量和验证应按照附录 A 进行。

6.3 模拟软件法

6.3.1 适用条件

因基期能耗数据缺失等原因无法采用“基期能耗-影响因素”法的水泥余热发电项目。

6.3.2 对模拟软件的要求

选用或开发的模拟软件应满足以下要求：

- a) 能够模拟水泥窑系统的用能特性;
- b) 能够使用实际运行参数进行校核。

6.3.3 节能量的计算

节能量的计算应按GB/T 28750的5.3进行。

6.3.4 数据的收集、测量和验证

数据的收集、测量和验证可参考 6.1.4 的要求。

7 不确定度

7.1 概述

节能量是没有发生的量,因此节能量不存在真值和误差。在确定测量和验证方案(包括测量和验证的数据基础、成本、目的等内容)后,可以评价节能量评估结果的不确定度,以说明节能量评估结果的可信赖程度。其表达方式是:一定置信水平下的节能量置信区间。

7.2 不确定度的来源

7.2.1 使用“基期能耗-影响因素”模型法时,节能量的不确定度可能来源于:

- a) 基期和报告期数据的测量、计量或统计;
- b) 模型;
- c) 抽样;
- d) 非常规调整。

7.2.2 使用直接比较法时,节能量的不确定度可能来源于:

- a) 基期和报告期数据的测量、计量或统计;
- b) 抽样。

7.2.3 使用模拟软件法时,节能量的不确定度可能来源于:

- a) 基期和报告期数据的测量、计量或统计;
- b) 模型;
- c) 抽样。

7.3 不确定度的量化分析

7.3.1 对于测量的不确定度可参照本标准的附录 B 进行量化分析。对于计量或统计相关的不确定度,可参照参考文献[1]进行量化分析。

7.3.2 对于抽样的不确定度,可参照参考文献[2]的附录 B、参考文献[3]附录 B 进行量化分析。

7.3.3 当采用数学模型进行非常规调整时,调整的不确定度可参考文献[3]的附录 B 进行量化分析。当采用人为约定进行非常规调整时,所有的调整量均应加入置信区间。

7.3.4 不确定度的量化分析需要较高的成本和人员能力。因此，通常可以忽略那些不重要的不确定度来源，仅对重要的不确定度来源（如模型或抽样等）进行分析。例如：在检定有效期内的计量仪表的数据可认为具有较低的不确定度，在分析时可以忽略。

附 录 A
(资料性附录)
水泥余热发电项目能耗的测量

A.1 基本要求

A.1.1 测量范围

测量范围主要是水泥熟料的烧成系统和余热发电系统，各系统具体的测量范围依据 CBMF 1。

A.1.2 测定前的准备及注意事项

- (1) 根据工厂具体情况，制订测定方案；
- (2) 所用各类仪器仪表及计量设备，均应定期检定或校准；
- (3) 根据测定要求，开好测孔，搭好脚手架，准备好必要的工具和劳动保护用品；
- (4) 准备好各测定项目的数据记录表格；
- (5) 按要求逐项填写并及时整理测定记录，发现问题尽早重测或补测；
- (6) 各项测定工作，必须在窑系统和余热发电系统处于连续、正常、稳定运行的时间不小于 72h 的生产条件下进行；需要检测的项目，应尽可能同时进行，以保证测定结果的准确性。

A.1.3 测试项目、测点位置及测试方法

相关参数的测量方法依据 GB/T 26282，测试内容依据 CBMF 1。

A.2 数据的验证

A.2.1 验证的项目及验证方法

应采用实际测量的方法对余热发电系统的发电量和自用电量进行验证，测量方法依据 GB/T 27977。

A.2.2 验证所需仪器

经过计量的电能计量设备。

A.3 数据的处理

A.3.1 单位熟料综合能耗

基期和统计报告期单位熟料综合能耗的计算方法相同，依据计算公式 (3) 进行。

A.3.2 不确定度的计算

应依据本标准 7 分析节能量测量和验证结果的不确定度。

A.4 数据质量要求

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

附录 B (资料性附录)

水泥余热发电项目能耗测量的不确定度量化分析方法

B.1 标准不确定度的评定

对节能量有直接影响的因素有燃煤用量 (x_1)、煤的热值 (x_2)、熟料产量 (x_3)、出冷却机熟料温度 (x_4)、废气温度 (x_5)、废气量 (x_6)、废气中粉尘含量 (x_7)、窑系统表面温度 (x_8)、环境温度 (x_9)、余热发电量 (x_{10}) 及电站的自用电量 (x_{11})。

在进行节能量不确定度分析时, 可只考虑对节能量有重要影响的因素 x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 、 x_5 、 x_6 、 x_8 、 x_{10} 和 x_{11} 。

B.2 标准不确定度的A类评定

B.2.1 单个影响因素 n 个独立测得值的算术平均值:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

\bar{x} —被测量影响因素的平均测得值;

n —测量次数;

x_i —同一被测量影响因素的第 i 个测得值。

B.2.2 单个影响因素被测量估计值的A类标准不确定度:

$$u_A(\bar{x}) = s(\bar{x}) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

$s(\bar{x})$ —单个影响因素被测量估计值的实验标准偏差;

$u_A(\bar{x})$ —单个影响因素被测量估计值的 A 类不确定度。

B.3 标准不确定度的B类评定

B 类评定的方法是根据有关的信息或经验, 判断被测量的可能值区间 $[\bar{x} - a, \bar{x} + a]$, 假设被测量值的概率分布, 根据概率分布和要求的概率 p 确定 k , 则 B 类标准不确定度 u_B 可由下式得到:

$$u_B = \frac{a}{k} \dots\dots\dots (B.3)$$

式中:

a —被测量可能值区间的半宽度;

k —根据概率论获得的 k 称置信因子, 当 k 为扩展不确定度的倍乘因子时称包含因子。

区间半宽度 a 和 k 的确定依据标准 JJF 1059.1 中相关条款确定。

B.4 合成不确定度的计算

由于各影响因素之间均不相关，则合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^N u_i^2} \dots\dots\dots (B.4)$$

式中：

u_c —合成标准不确定度；

N —影响因素个数。

参考文献

- [1] JJF 1059.1 测量不确定度评定与表示
 - [2] ASHRAE guideline 14-2002 Measurement of energy and demand savings
 - [3] EVO 10000-1:2010 International Performance Measurement and Verification Protocol-Concept and Options for Determining Energy and Water Savings.
-