

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局



(10) 国际公布号

(43) 国际公布日

2013 年 6 月 27 日 (27.06.2013)

W I P O | P C T

W O 2013/091487 A 1

(51) 国际分类号：
F22B 35/18 (2006.01) F22B 37/38 (2006.01)

(21) 国际申请号：
PCT/CN20 12/086 140

(22) 国际申请日：
2012 年 12 月 7 日 (07.12.2012)

(25) 申报语言：
中文

(26) 公布语言：
中文

(30) 优先权：
2011 10427921.2 2011 年 12 月 19 日 (19.12.2011) CN

(71) 申请人：上海望特能源科技有限公司 (SHANGHAI WANGTE ENERGY RESOURCE SCIENCE & TECHNOLOGY CO., LTD), [CN/CN]; 中国上海市徐汇区钦州路 100 号 1 号楼 608 室, Shanghai 200235 (CN)。

(72) 发明人：王衡 (WANG, Heng); 中国上海市徐汇区钦州路 100 号 1 号楼 608 室, Shanghai 200235 (CN)。

王浩 (WANG, Menghao); 中国上海市徐汇区钦州路 100 号 1 号楼 608 室, Shanghai 200235 (CN)。

(74) 代理人：上海交大专利事务所 (SHANGHAI JIAODA PATENT AGENCY); 中国上海市徐汇区华山路 1954 号教三楼 230 室专利办公室, Shanghai 200030 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, ML, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

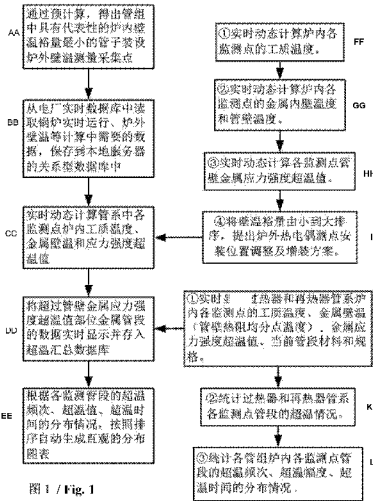
(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA,

0

[见续页]

(54) Title: METHOD FOR MONITORING INSIDE-BOILER DYNAMIC WALL TEMPERATURE OF POWER PLANT BOILER HIGH-TEMPERATURE PIPING SYSTEM

(54) 发明名称：电站锅炉高温管系炉内动态壁温监测的方法



AA THROUGH PRE-CALCULATION, OBTAIN A REPRESENTATIVE PIPE WITH THE MINIMUM INSIDE-BOILER WALL TEMPERATURE MARGIN IN A PIPE SET, AND MOUNT AN OUTSIDE-BOILER WALL TEMPERATURE MEASUREMENT ACQUISITION POINT ON THE PIPE;

BB READ, FROM A POWER PLANT REAL-TIME DATABASE, DATA REQUIRED IN THE CALCULATION REGARDING REAL-TIME OPERATION OF THE BOILER AND THE OUTSIDE-BOILER WALL TEMPERATURE, AND STORE THE DATA IN A RELATIONAL DATABASE OF A LOCAL SERVER;

CC PERFORM REAL-TIME DYNAMIC CALCULATION ON THE INSIDE-BOILER WORKING MEDIUM TEMPERATURE AT EACH MONITORING POINT;

DD DISPLAY, IN REAL TIME, DATA OF A METAL PIPE SECTION EXCEEDING THE PIPE WALL METAL STRESS INTENSITY OVERTEMPERATURE VALUE AND STORE THE DATA IN AN OVERTEMPERATURE SUMMARY DATABASE;

EE ACCORDING TO THE DISTRIBUTION OF THE OVERTEMPERATURE FREQUENCY, THE OVERTEMPERATURE VALUE, THE OVERTEMPERATURE TIME OF EACH MONITORED PIPE SECTION, SEQUENTIALLY AND AUTOMATICALLY GENERATE AN INTUITIVE DISTRIBUTION CHART;

FF PERFORM REAL-TIME DYNAMIC CALCULATION ON THE WORKING MEDIUM TEMPERATURE AT EACH MONITORING POINT IN THE BOILER;

GG PERFORM REAL-TIME DYNAMIC CALCULATION ON THE METAL INNER WALL TEMPERATURE AND THE PIPE WALL TEMPERATURE AT EACH MONITORING POINT IN THE BOILER;

HH PERFORM REAL-TIME DYNAMIC CALCULATION ON THE PIPE WALL METAL STRESS INTENSITY OVERTEMPERATURE VALUE AT EACH MONITORING POINT;

II RESEQUENCE THE WALL TEMPERATURE MARGINS IN AN ASCENDING ORDER, AND PROPOSE AN OUTSIDE-BOILER THERMOCOUPLE MEASUREMENT POINT MOUNTING POSITION ADJUSTMENT AND ADDING SCHEME;

JJ DISPLAY, IN REAL TIME, THE WORKING MEDIUM TEMPERATURE, THE METAL WALL TEMPERATURE, THE TEMPERATURE AT THE PIPE WALL, THERMAL RESISTANCE EQUIPARTITION POINT), THE METAL STRESS INTENSITY OVERTEMPERATURE VALUE AT EACH INSIDE-BOILER MONITORING POINT OF THE SUPERHEATER AND REHEATER PIPING SYSTEM, AND THE MATERIAL AND SPECIFICATIONS OF THE CURRENT PIPE SECTION;

KK MAKE STATISTICS ON THE OVERTEMPERATURE CONDITION OF THE PIPE SECTION AT EACH MONITORING POINT OF THE SUPERHEATER AND REHEATER PIPING SYSTEM;

LL MAKE STATISTICS ON THE DISTRIBUTION OF THE OVERTEMPERATURE FREQUENCY, THE OVERTEMPERATURE AMPLITUDE, AND THE OVERTEMPERATURE TIME OF THE PIPE SECTION AT EACH INSIDE-BOILER MONITORING POINT ON EACH PIPE SET

图 1 / Fig. 1

(57) Abstract: A method for monitoring inside-boiler dynamic wall temperature of a power plant boiler high-temperature piping system comprises: through pre-calculation, obtaining a representative pipe with the minimum inside-boiler wall temperature margin in a pipe set, and mounting an outside-boiler wall temperature measurement acquisition point on the pipe; reading, from a power plant real-time database, data required in the calculation regarding real-time operation of the boiler and the outside-boiler wall temperature, and storing the data in a relational database of a local server; performing, according to the real-time data of the real-time operation and the outside-boiler metal wall temperature, real-time dynamic calculation on the inside-boiler working medium temperature and the metal wall temperature of a power plant boiler superheater and reheater piping system; separating data of a metal pipe section at a portion exceeding the pipe wall metal stress intensity overtemperature value, and storing the data in an overtemperature summary database. The method for monitoring the dynamic wall temperature can perform dynamic on-line calculation and on-line monitoring effectively with reference to the actual working conditions, thereby achieving the technical effect of prolonging the service life of the piping system, and preventing the piping system of the power plant boiler from bursting due to overtemperature.

(57) 摘要：

[见续页]



WO 2013/091487 A1



RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

根据细则 4.17 的声明：

- 关于申请人有权要求在先申请的优先权(细则 4.17(iii))

本国际公布：

- 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

一种电站锅炉高温管系炉内动态壁温监测的方法，通过预计算，得出管组中具有代表性的炉内壁温裕量最小的管子装设炉外壁温测量采集点；从电厂实时数据库中读取锅炉实时运行、炉外壁温等计算中需要的数据，保存到本地服务器的关系型数据库中；根据实时运行和炉外金属壁温的实时数据，对电站锅炉过热器和再热器管系炉内工质温度和金属壁温生成实时动态计算；分离出超过管壁金属应力强度超温值部位的金属管段的数据存入超温汇总数据库。动态壁温监测的方法能够有效结合实际工况动态在线计算和在线监测，达到延长管系使用寿命的技术效果，解决防止电站锅炉管系超温爆管的技术问题。

电站锅炉高温管系炉内动态壁温监测的方法

技术概述

本发明涉及的是一辨电站锅炉技术领域的方法,具体是一种电站锅炉高温管系炉内动态壁温监测的方法。

背景技术

近年来,我国发电行业的高速发展,超临界和超超临界发电机组大量投运,锅炉等级、温度、压力等参数随着提升。目前金属材料已经用到了接近最高温度等级,相应的材料在应力超温方面的裕量越来越小,运行中多项因素都会引起超温现象,还引发了由于材料超温造成的管内氧化皮的生成过快并脱落引起堵塞爆管等问题。锅炉爆管事故不但会造成上千万元的直接经济损失,导致管组寿命大幅度减小,而且还存在连续爆管的隐患。为了消除电站锅炉过热器和再热器管系在运行中因管壁超温引起的爆管、延缓管内氧化皮生成速度及延长管系的使用寿命,急需提出一种电站锅炉过热器和再热器管系炉内动态壁温的实时监测方法,对电站锅炉过热器和再热器管系的实时在线运行情况、动态壁温、温度裕量等情况进行实时监测,并能对锅炉的燃烧调整有实际的指导意义。其经济效益、节能减排指标非常突出而且迫切,与我国12.5规划中国国家能源建设密切相关。

经对现有的技术文献检索发现:

①专利名称:电站锅炉末级过热器和末级再热器智能壁温管理方法,专利号:201010174298.X,专利公开号:CN101832543A,该技术自述:管理方法的步骤为:

步骤1、将网页服务器分别与用户端浏览器、数据库服务器和计算服务器连接,数据库服务器和计算服务器连接,数据库服务器通过厂级监控信息系统与电厂DCS系统或者MIS系统及在线测点连接;

步骤2、读取厂级监控信息系统数据库中锅炉末级过热器和末级再热器在线监测数据,并保存到本地关系型数据库中;

步骤3、根据读取到的在线监测数据计算炉内各计算点的蒸汽温度及管壁温度;

步骤4、统计末级过热器和末级再热器各屏各管各计算点历史温度数据分布范围及各计算点的超温运行时间;

步骤5、实时显示计算结果。

该技术的不足之处是：(1) 如该项专利申请的主题所述，其只对电站锅炉末级过热器和末级再热器两个管组进行智能壁温管理，而大容量锅炉的过热器再热器管系共有 6 个管组，即一级过热器（或称低温过热器）、二级过热器（或称分隔屏过热器）、三级过热器（即后屏过热器）、四级过热器（即末级过热器）、低温再热器和高温再热器。在锅炉实际运行中约有 30~40% 的超温爆管发生在一级过热器和二级过热器，该专利没有涉及解决一级过热器和二级过热器两个管组的超温爆管问题；(2) 该专利方法中的步骤 1 和步骤 2 中，并没有对取得监测数据的测量采集点的选择及其布局这个关系测量值精度和可靠性问题提出技术方案和措施，因此所有炉内计算点（监测点）的汽温和壁温的计算就缺乏依据和难以符合锅炉实际运行工况。如果测量采集点没有选择在温度最高的管子上，或者测量值的准确性不高，监测点的炉内汽温和壁温的计算就严重影响其整个技术方案的技术效果；(3) 该技术方法中的步骤 3，各计算点的蒸汽温度和管壁温度的计算模型同样存在缺乏建模依据和不符合锅炉实际运行工况的情况，如：缺少计算点烟气上游管屏烟室的辐射（前屏辐射）、屏中辐射和屏后辐射对计算点的辐射热量，还缺少各排管子计算点对流吸热量、屏间辐射吸热量和屏前辐射吸热量的偏差。综上所述，该专利并不能实现整个电站锅炉管系的壁温快速在线实时计算和在线监测与控制，也无法实现电站锅炉在服役期内安全运行，以及延长锅炉使用寿命。由于缺乏建模依据和精度和可靠性都存在问题，对于其特指的末级过热器和末级再热器也难以获得积极的技术效果。

发明内容

本发明针对现有技术中存在的不足和缺陷提出一种电站锅炉高温管系炉内动态壁温监测的方法。本发明实现过热器和再热器管系超温状态、实时动态计算监测，实现了电站锅炉过热器和再热器管系的安全、经济运行，并为锅炉的状态检修提供了直接的数据支持。

本发明是通过以下技术方案实现的：

本发明包括以下步骤：

步骤 1、通过预计算，得出管组中具有代表性的炉内壁温裕量最小的管子装设炉外壁温测量采集点；

步骤 2、从电厂实时数据库中读取锅炉实时运行、炉外壁温等计算中需要的数据，保存到本地服务器的关系型数据库中；

步骤 3、根据实时运行和炉外金属壁温的实时数据，对电站锅炉过热器和再热器管系炉内所有管子工质温度和金属壁温，以及应力强度超温值生成实时动态计算；

步骤 4、从步骤 3 计算结果中分离出超过管壁金属应力强度超温值部位金属管段的数据实时显示并存入超温汇总数据库。

步骤 s、根据各监测管段的超温激次、超温时间、超温时间的分布情况，按照排序自动生成直测的分布图表。

其中；

步骤 j,所述的预计算,就是在锅炉设计阶段预先计算沿锅炉宽度吸热量最大的偏差屏中所有管子各管段管壁金属应力强度壁温裕量，用以找出管屏中容易超温爆管的最危险的管子，获得所述的管壁金属应力强度壁温裕量，包括以下步骤；

a、计算管段的对流热量平均值 Q_d ：
$$Q_d = \xi_d K_h \alpha_d H_d (\theta - t_s) \quad (1)$$

式中： ξ_d 为对流传热偏差系数， K_h 为高度热负荷偏差系数， α_d 为对流放热系数， H_d 为对流受热面积， θ 为烟气温度， t_s 为管子积灰表面温度。

根据计算管段在管屏中所处的位置，由烟气对各排管子的对流传热偏差，计算得到管段的对流传热偏差系数 ξ_d 。

b、计算屏间辐射热量平均值 Q_p ：
$$Q_p = \xi_p K_h \sigma_0 a_{si} a_{sp} H_p \{ (\theta_p + 273)^4 - (t_s + 273)^4 \} \quad (2)$$

式中： ξ_p 为屏间辐射偏差系数， K_h 为高度热负荷偏差系数， σ_0 为波尔茨曼辐射常数， a_{si} 为系统辐射黑度， a_{sp} 为屏间烟室黑度， H_p 为屏间辐射面积， θ_p 为屏间烟气温度； t_s 为管子积灰表面温度。

根据计算管段在管屏中所处的位置（中闷管，首排管，紧贴在一片屏侧面的管子，两边节距不等管子），由屏间烟气对各种类型管子的屏间辐射角系数，计算得到各管段的屏间辐射偏差系数 ξ_p 。

c、计算屏前辐射热量平均值 Q_q ：
$$Q_q = \xi_q K_h \sigma_0 a_{si} a_{sq} H_q \{ (\theta_q + 273)^4 - (t_s + 273)^4 \} \quad (3)$$

式中： ξ_q 为屏前辐射偏差系数， K_h 为高度热负荷偏差系数， σ_0 为波尔茨曼辐射常数， a_{si} 为系统辐射黑度， a_{sq} 为屏前烟室黑度， H_q 为屏前辐射面积， θ_q 为屏前烟气温度， t_s 为管子积灰表面温度。

根据计算管段在管屏中垂直于屏前辐射所处的位置（第 1、2、3.....排），由屏前烟气对各排管子的辐射角系数，计算得到各管段的屏前辐射偏差系数 ξ_q 。

d、计算屏前前烟室辐射热泄平均值 Q_{qq} ：

$$Q_{qq} = \xi_{qq} K_h \sigma_0 a_{si} a_{qq} (1 - x_{gp}) (1 - a_q) H_{qq} \{ (\theta_{qq} + 273)^4 - (t_s + 273)^4 \} \quad (4)$$

式中： ξ_{qq} 为屏前前辐射偏差系数， K_h 为高度热负荷偏差系数， σ_0 为波尔茨曼辐射常数， a_{si} 为系统辐射黑度， a_{qq} 为屏前前烟室黑度， x_{gp} 为屏前烟室进口管排的角系数， a_q 为屏前烟室黑度， H_{qq} 为屏前前辐射面积， θ_{qq} 为屏前前烟室的烟温， t_s 为管子积灰表面温度。

根据计算管屏烟气上游禽温管屏屏间烟室的辐射热量透过计算管屏的进口管排和屏前烟

室，对计算管段的辐射角系数，并算得到各管段的前前辐射偏差系数 ξ_{qq} 。

$$e、\text{计算屏中辐射热量平均值 } Q_z: Q_z = \xi_z K_h \sigma_0 a_{s1} a_{z1} H_z [(\theta_z + 273)^4 - (t_3 + 273)^4] \quad (5)$$

式中： ξ_z 为屏中辐射偏差系数， K_h 为高度热负荷偏差系数， σ_0 为波尔茨曼辐射常数， a_{s1} 为系统辐射黑度， a_{z1} 为屏中烟室黑度， H_z 为屏中辐射面积， θ_z 为屏中烟气温度， t_3 为管子积灰表面温度，

根据计算管段在管屏中垂直于屏中辐射所处的位置（第 1、2、3……排），由屏中烟气对各排管子的辐射角系数，计算得到管段的屏中辐射偏差系数 ξ_z 。

$$f、\text{计算屏后辐射热量平均值 } Q_b: Q_b = \xi_b K_h \sigma_0 a_{s1} a_{b1} H_b [(\theta_b + 273)^4 - (t_3 + 273)^4] \quad (6)$$

式中： ξ_b 为屏后辐射偏差系数， K_h 为高度热负荷偏差系数， σ_0 为波尔茨曼辐射常数， a_{s1} 为系统辐射黑度， a_{b1} 为屏后烟室黑度， H_b 为屏后辐射面积， θ_b 为屏后烟气温度， t_3 为管子积灰表面温度，

根据计算管段在管屏中垂直于屏后辐射所处的位置（第 1、2、3……排），由屏后烟气对各排管子的辐射角系数，计算得到管段的屏后辐射偏差系数 ξ_b 。

$$g、\text{计算屏下辐射热量平均值 } Q_x: Q_x = \xi_x K_h \sigma_0 a_{s1} a_{x1} H_x [(\theta_x + 273)^4 - (t_3 + 273)^4] \quad (7)$$

式中： ξ_x 为屏下辐射偏差系数， K_h 为高度热负荷偏差系数， σ_0 为波尔茨曼辐射常数， a_{s1} 为系统辐射黑度， a_{x1} 为屏下烟室黑度， H_x 为屏下辐射面积， θ_x 为屏下烟气温度， t_3 为管子积灰表面温度。

根据计算管段在管屏中垂直于屏下辐射所处的位置（第 1、2、5……排），由屏下烟气对各排管子的辐射角系数，计算得到管段的屏下辐射偏差系数 ξ_x 。

h、计算管段的焓增 Δia ：

$$\Delta ia = Kr^v (Q_{s4} - Q_{p1} + Q_q + Q_{qq} + Q_z + Q_b + Q_x) / G \quad (8)$$

式中： Kr^v 为预计算所设定的宽度吸热偏差系数； Q_{s4} 为管段对流热量平均值； Q_{p1} 为管段屏间辐射热量平均值； Q_q 为管段屏前辐射热量平均值； Q_{qq} 为管段前前辐射热量平均值； Q_z 为管段屏中辐射热量平均值； Q_b 为管段屏后辐射热量平均值； Q_x 为管段屏下辐射热量平均值；该 7 项热量的计算式与上述式 (1) ~ 式 (7) 相同。 G 为计算管段的蒸汽流量。

$$i、\text{计算管段的蒸汽焓 } i: i = i_j + \sum \Delta ia \quad (9)$$

式中： i_j 为计算管的进口蒸汽焓，取用设计值； $\sum \Delta ia$ 为从管子进口到计算点所有管段的蒸汽焓增计算值之和，

j、计算管段的工质温度 t

根据蒸汽的焓温表，由 i 得出 t 。

k、计算管段外壁沿周界最大热负荷 q_m ：

$$q_m = \eta Q_p / M + \phi (Q_p / H_p + Q_q / H_q + Q_{qq} / E_{qq} + Q_z / H_z + Q_w / H_w + Q_s / H_s) \quad (18)$$

式中： η 为对流热负荷增大系数； ϕ 为对流热系数； H_d 为对流受热面积； ϕ 为箱射热负荷曝光系数； Q_p 为屏间辐射热量； H_p 为屏筒辐射面积； Q_q 为屏前辐射热量； H_q 为屏前辐射面积； Q_{qq} 为展前前辐射热量； H_{qq} 为屏前前辐射面积； Q_z 为屏中辐射热量； H_z 为屏中辐射面积； Q_w 为屏后辐射热量； H_w 为屏后辐射面积； Q_s 为屏下辐射热量； H_s 为屏下辐射面积，

l、计算管段的金属内壁温度 t_{ib} ：

$$t_{ib} = t + \beta q_m \left(\frac{M}{\alpha_2} \right) \quad (11)$$

式中： t 为计算管段工质温度； β 为管子外径与内径之比； μ_m 为内壁热量均流系数； α_2 为内壁与蒸汽之间的放热系数； q_m 为外壁沿周界最大热负荷；

m、计算管段的管壁温度（热阻均分点温度） t_b ：

$$t_b = t + \beta q_m \left[\frac{M}{\alpha_2} + \frac{1}{\lambda(i + \beta)} \right] \quad (12)$$

式中： t 为计算管段工质温度； β 为管子外径与内径之比； q_m 为计算管段的外壁沿周界最大热负荷； μ_m 为内壁热量均流系数； μ_p 为沿管壁厚度的平均热量均流系数； α_2 为内壁与蒸汽之间的放热系数。

n、计算监测点管子金属的允许温度 t_{yx} ， $t_{yx} = f(\sigma_{dt}) \quad (13)$

式中： σ_{dt} 为计算点管子的动态应力值。

p、计算监测点管子的管壁金属应力强度壁温裕量 δ ：

$$\delta = t_{yx} - t_b \quad (14)$$

式中： t_{yx} 为计算监测点管子金属的允许温度； t_b 为管壁温度(热阻均分点温度)。

步骤 1 所述的通过预计算选择测量采集点，方法如下：

① 通过预计算，找出管屏中容易超温爆管的最危险的管子；

② 对上述壁温裕量从小到大进行排序，取裕量最小的前 100 位确定沿同屏各管及沿锅炉宽度需要检测的管子。

本发明在上述前 100 位管壁金属应力强度壁温裕量最小的管子中，取占管屏中管子总数的 5~20% 的管子作为装设沿同屏各管及沿锅炉宽度炉外壁温测量采集点的布置方案。

本发明在计算出炉内各管各管的监测点管内所述的管内实时工质温度时，现有技术炉内各点汽温分段计算中，只计算对流、屏间辐射、屏前辐射和屏下辐射热量及屏后辐射热量。本发明根据

邀论研究和实炉测量，增加了前前镇射热量 Q_{qq} ，屏中辐射热量 Q_r 和屏后辐射热量 Q_s 。因为随着电站锅炉容量的增大，其结构与以前亚临界锅炉有很大的不同。管屏的横向节距、屏中部的烟室空间和屏后烟室空间在尺度上都增大很多，因此处于计算管屏前（烟气上游）的高温管屏的屏间烟室，计算管屏的屏中烟室和屏后烟室对计算管屏的三种辐射热量是不能忽略的。这三项辐射热量（前前镇射热量 Q_{qq} 、屏中辐射热量 Q_r 和屏后辐射热量 Q_s ）应该在汽温分段计算中予以计算。在分段计算中增加了这三项热量，使管屏的并排几根管子的计算温度升高，与实测值吻合，提高了计算的精度。

现有技术炉内各点汽温计算中，采用沿烟气流程各排管子的对流放热系数 α 为一个定值的方法来处理。而目前实际使用是，大容量电站锅炉过热器再热器各级管组都采用级向密排的管屏，纵向节距比 $S_2/d = 1.3 \sim 2$ 。在这种管屏中，烟气在中阀管排的管子之间不能有效冲刷，而烟气对首排管的头部和末排管的尾部由于级向没有相邻管子，所以冲刷比较充分。因此它们的 α 比中间管大。本发明根据烟气流经首排管和末排管时沿周界的流速变化，用积分方法计算出它们相对于中间管的对流放热偏差系数 ξ_{α} ，提高了计算的精度。

现有技术炉内各点汽温计算中，采用沿烟气流程各排管子的屏间辐射热负荷 q_p 为一个定值的方法来处理。而目前实际使用是处于管屏中不同位置的管子（中间管、首排管、紧靠一片屏侧面的管子、两边节距不等管子）屏间辐射热负荷 q_p 相差很大。本发明根据各种管型屏间辐射角系数的研究计算，用多重积分方法计算出这些管子相对于中间管的屏间辐射热负荷偏差系数 ξ_{q_p} ，提高了计算的精度。

本发明在计算出炉内各屏各管的监测点管内所述的管子金属内壁温度时，现有技术对炉内各点管壁温度计算中，由于难于准确计算管内汽温 i ，所以用平均汽温 i_p 计算平均热负荷 q_0 ，再乘上宽度热负荷偏差系数 K_r 得到计算点外壁沿周界最大热负荷 q_m 。然而偏差屏中管内的汽温 i 比平均汽温 i_p 高很多，这样计算得到的 q_0 值比实际值偏高很多，导致壁温计算结果与实际严重不符。本发明由于能够准确计算管内汽温，因此可以直接采用计算管段的工质温度计算 q_m ，使计算结果与实测值吻合，提高了计算的精度。

本发明在计算出炉内各屏各管的监测点管内所述的管壁温度（热阻均分点温度）时，现有技术对炉内各点管壁温度计算中，计算管子内壁和外壁的计算式中的热量均流系数采用同一个值 μ 。但在现代大容量锅炉的过热器再热器管屏中，温度和压力比传统的亚临界锅炉大得多。例如超超临界锅炉的过热蒸汽出口压力比亚临界锅炉高 50% 左右，达 26~27.5 MPa.g，出口温度比亚临界锅炉高 35℃，达 605℃。所以管子的壁厚增大很多，例如超超临界锅炉末级过热器炉内管子的壁厚达到 7~8 mm（比亚临界锅炉大 40~50%）。因此管子所吸收的热量沿管子厚

度的平均均流系数 \bar{h}_m 与热量达到内壁时的内壁均流系数 \bar{h}_w 有较大的差凝。本发明是用热量沿管壁厚度均流的数学模型分别计算出管子沿管壁的平均热量均流系数 \bar{h}_{qm} 和内壁热量均流系数 \bar{h}_w ，用于管壁热阻均分点溢度的计算式中，提高了壁温计算的准确性。同时，由于管子在受到内部压力时，管壁中从外壁到内壁各点的应力是不同的。根据材料力学的原理，表征管子强度的管径所在就是热阻均分点，所以计算中采用热阻均分点的管壁温度作为检测是否超温的管壁温度值，提高了计算的精度，

步骤 2 所述的保存到本地服务器的关系数据库，方法如下：

①从电厂提供数据库的 KKS 清单编号中，包含锅炉实时运行、过热器再热器炉外金属壁温数据的点表清单；

②本地计算服务器通过 API 接口编义数据采集程序，在读取点表清单后，发出命令让电厂实时数据库按要求的格式生成数据文件；

③电厂实时数据库把请求的数据按照每分钟 2 次的间隔和文件名发送到本地计算服务器所指定的位置；

④实时保存到本地服务器的实时数据库或关系数据库中。

步骤 3 中所述的工质壁温和金属壁温生成实时动态计算，包括以下步骤：

Φ 计算出炉内各屏各管的监测点管内实时工质温度、金属内壁温度、管壁温度（热阻均分点温度）；

② 计算出管子管壁金属应力强度超温值；

③ 以动态矢量图、折线图和表格结合动态鼠标响应的方式显示过热器和再热器管系炉内各监测点的工质温度、管壁温度（热阻均分点温度）、金属应力强度超温值、应力超温值、材料规格。

获得步骤①中所述的计算管内实时工质温度、金属内壁温度和管壁温度，包括以下步骤：

a、计算管段的对流热量平均值 Q_d 、屏间辐射热量平均值 Q_{ij} 、屏前辐射热量平均值 Q_{qj} 、屏前前焰室辐射热量平均值 Q_{qj} 、屏中辐射热量平均值 Q_{ij} 、屏后辐射热量平均值 Q_{ij} 、屏下辐射热量平均值 Q_{ij} 。该 7 项热量的计算式与上述式 (1) 一式 (7) 相同。

b、计算实际运行的宽度吸热偏差系数 Kr：

$$Kr = Q_{js} / Q_{pj} \tag{15}$$

式中： Q_{js} 为计算管屏的吸热量； Q_{pj} 为各管屏的平均吸热量。

c、计算管段的焓增 Δia ：

$$\Delta ia = Kr (Q_d + Q_p + Q_q + Q_{qj} + Q_{ij} + Q_h + Q_x) / ga \tag{16}$$

式中： K_r 为实际运行的宽度吸热偏差系数； Q_d 为管段对流热量平均值； Q_{q1} 为管段屏间辐射热量平均值； Q_q 为管段屏前辐射热量平均值； Q_{qq} 为管段前屏辐射热量平均值； Q_{q2} 为管段屏中辐射热量平均值； Q_{q3} 为管段屏后辐射热量平均值； Q_x 为管段屏下辐射热量平均值； K_r 的计算式与式 (15) 相同，7 项热量的计算式与上述式 (1) 一式 (7) 相同。 g_a 为计算管段的蒸汽流量。

d、计算管段的蒸汽焓 i 和工质温度 t

$$i = i_j + \sum \Delta i_i \tag{17}$$

式中： i_j 为实际运行管屏的进口蒸汽焓； $\sum \Delta i_i$ 为从管子进口到监测点所有管段的工质焓增计算值之和。

e、计算监测点的工质温度 t

根据蒸汽的焓温表，由 i 得 t 。

f、计算监测点外壁沿周界最大热负荷 q_m ，计算式与上述式 (10) 相同。

g、计算监测点的金属内壁温度 t_{ib} 、管壁温度 (热应力均分点温度)，该 2 项的计算式与上述式 (11) 一式 (12) 相同。

步骤②中所述的管子管壁金属应力强度超温值，包括以下步骤：

h、计算监测点管子的金属允许温度 t_{yx} ：

$$t_{yx} = f(\sigma_d) \tag{18}$$

式中： σ_d 为计算点管子的动态应力值。

i、计算监测点管子的管壁金属应力强度超温值 d_t ：

$$d_t = t_b - t_{yx} \tag{19}$$

式中： t_b 为管壁温度 (热应力均分点温度)； t_{yx} 为管子的金属允许温度。

步骤③中所述的显示过热器和再热器管系炉内各监测点的工质温度、金属壁温 (管壁热应力均分点温度)、金属应力强度超温值、材料和规格，是措：

用户在“汽温和壁温象测报警”菜单中选择屏间和同屏方式显示某一个管段沿屏间方向的汽温和壁温分布显示或者选择某一片管屏所有管子所有管段的汽温和壁温分布情况显示；当金属材料应力超温时，蓝色变为红色报警；当鼠标点到各棒状图上时，都会出现相应计算点管段的鼠标响应，其内容包括：当鼠标点所在的位子、当前动态的工质温度、金属壁温、当前管壁金属应力强度超温值、材料和规格。

步骤4中所述的存入超温汇总数据库，包括：记录和显示超温累计时长、超温遍、频次和各超温时刻的锅炉运行状态的数据，其步骤如下：

①按各计算点管段每次的超过应力允许温度时刻为触发点的一个小时为记录时长，并把每个时长中的锅炉电功率、主汽温度、最高壁温和最高涂温时刻、材料规格记入数据库，并可按管组进行材料应力超温统计查询；

②按管组屏号为横坐标、 $\frac{3}{4}$ 超温频次、超温值、超温时间为纵坐标，以散点矢量图和表格的方式显示前 100-880 管段的超温频次、超温值、超温时间的分布图和分布表；

③ $\frac{3}{4}$ 鼠标放到各散点上时出现鼠标响应框，内容为该计算点管段的部位、材料规格及超温时间。

用户选择“超温统计”菜单并逸择相应管组后，会出现本管组的“超温统计”界面。以表格的形式将过去系统运行中出现的超温管段详细情况的累积数据展示给用户，包括各管段的累积超温时间、超温详情和管段的位置、材料规格等，并能按照管号或屏号进行排序。相应的表格可以根据需要生成 Excel 文档输出。在点击每段记录后出现的“查看”按钮后，相应管段的汇总记录会打开，显示本管段的“超温详情”表格，可以看到该管段在每一个小时内的超温时长、达到的最高涂温、最高壁温发生的时刻、最高应力时刻的锅炉发电机有功功率和主汽温度。点击每条记录的“查看”按钮后，系统会进入本条记录最高温度时刻的“历史追忆”表格的上部还有可以根据开始结束时间和超温时长长短查询的模糊查询框，可以按照条件查询所需的每个管组的超温情况。相应的表格可以根据需要生成 EXCEL 文档输出。在“超温汇总查询”表中，用户可以选择不同的管组、超温的时长范围、超温的位置、超温日期进行组合查询，系统会访问数据库历史中已有的超温等信息，根据条件汇总后在显示到客户端界面上。

步骤 S 中所述的分布图表，是指：超温值、超温时长、超温频次的分布图表。

用户可以按管组屏号为横坐标、以超温频次、超温值、超温时间为纵坐标，以散点矢量图和表格的方式显示前 100-880 管段的超温频次、超温值、超温时间的分布图和分布表。当鼠标放到各散点上时出现鼠标响应框，内容为该计算点管段的部位、材料规格、超温时间。

本发明为了消除电站锅炉过热器和再热器管系在运行中因为管壁金属应力强度超温引起的爆管以及延长管系的使用寿命，首先对电站锅炉过热器和再热器管系的实时在线运行情况、动态壁温、金属应力强度超温范围进行实际检测，根据实际建立模型，进一步进行计算，以实际数据和计算结果为依据，给出电站锅炉避免超温运行及延长管系的使用寿命的措施。本发明实现的电站锅炉过热器和再热器管系延长管系的使用寿命的方法可 $\frac{3}{4}$ 实现锅炉过热器和再热器管系所有管组炉内动态壁温、金属应力强度的实时在线监测。如果发生过热器和再热器管系中某些管段的超温或区域温度过低，则可以通过反切风、不同磨煤机的运行配合、燃烧器的就地煤粉分配器调整等燃烧调整方式来 $\frac{3}{4}$ 平炉内金属壁温，使之不再超温和防止区域温度过低，

达到消除超温引起的爆管、延缓管内氧化皮生成和延长管系使用寿命的技术效果。

本发明与现有技术相比，具有显著的技术效果和技术进步：(1) 本发明对过热器再热器所有管组均进行监测，提高了安全运行的覆盖面，明显能够克服局拟于仅对一、两个管组进行监测存在的问题；(2) 本发明通过有效地选择管组中温度最高的管子装设炉外壁温测量采集点，使计算的准确性有了坚实的基础；(3) 本发明根据当前大容量锅炉结构的特点，增加了前屏辐射、屏中辐射和屏后辐射热量，同时充分考虑了不同位置管段的各种辐射和对流吸热量的偏差的影响，使对汽温的计算、监测与实测结果更为吻合；(4) 本发明在炉内壁温的计算、监测中，直接采用监测点的汽温和烟温计算最大热负荷 q_m ，并根据高参数锅炉管壁厚度大的特点，分别计算平均热量均流系数 μ_{pj} 和内壁热量均流系数 μ_n ，使壁温计算结果准确性更高。(5) 本发明实现了过热器和再热器管系炉内动态壁温、金属应力强度超温值的动态在线计算和在线监测，能够消除锅炉运行中过热器和再热器管系炉内因管壁金属应力强度超温引起的爆管，达到延长管系使用寿命的技术效果；解决了当前我国的电站锅炉技术领域急需解决的重大的技术难题，能够准确给出防止电站锅炉高温管系超温爆管的预置措施，避免电站锅炉爆管给企业、给国家造成的巨大的直接经济损失。

具体效益指标如下：

①启停炉效益分析：以一台锅炉每年减少一次非停、每次停炉抢修 6 天、负荷率 60%、发电利润按 0.1 元/kWh 计算的经济效益为（以下数据不包括电网对非停事故的罚款）：

机组容量	效益	减少启停损失	多发电量	减少经济损失
1000MW 超超临界锅炉		80 万元	8640 万 kWh	944 万元
660MW 超超临界锅炉		55 万元	5703 万 kWh	625.3 万元
600MW 亚超临界锅炉		50 万元	5184 万 kWh	568.4 万元
300MW 亚临界锅炉		25 万元	2592 万 kWh	284.2 万元

②避免降参数运行在节能减排方面的经济效益：以 1000 MW 机组为例，设计供电煤耗为 280g/kWh，按照 BMCR、主蒸汽和再热蒸汽同时降温 15℃，平均负荷为 75%BMCR，年运行 7000 小时计算：

项 目	年减少量	经济效益
节煤 (标煤)	11812 吨	1181 万元

减排 (二氧化碳)	30712 吨	-----
全厂循环热效率	降低 0.75%-0.8%	

③ 电厂因延长过热器再热器高温管屏使用寿命的经济效益：

以一台 600M W 锅炉为例，锅炉钢材总重 25000 吨，受压部件重 7500 吨。其中高温管屏高级耐温合金钢的重量为 2930 吨，造价超过 1 亿元人民币，其设计寿命为 10 万小时。若延长高温管屏的使用寿命 2 万小时计算，经济效益超过 2 千万人民币，也是非常可观的。2007 年，从日本进口的 HR310、SUPER304H 两种管材价格较前三倍，达到每吨 30 万元以上，因此更加需要通过精心运行延长其使用寿命，提高经济效益。

④ 社会效益；我国电厂因锅炉发生爆管事故很多（进口锅炉，例如：某电厂自美国 Fosterwheeler 公司进口的 600MW 锅炉前屏式过热器、北仑电厂自美国 CE 公司进口的 600MW 锅炉末级再热器和过热器，以及另一个某电厂自美国 B&W 公司进口的 600MW 锅炉屏式过热器）。据统计，全国每年发生的过热器再热器爆管有几百起。如果采用本发明就可防止事故发生，经济效益将是非常巨大的，并且可避免因锅炉超温引起的爆管停电所造成的地区经济损失，特别是在夏冬季用电高峰季节，其社会效益和间接经济效益更为显著。

附图说明

图 1 为本发明实施例实施过程方框示意图。

具体实施方式

下面结合附图对本发明的实施例作详细说明；本实施例在以本发明技术方案为前提下进行实施，给出了详细的实施方式和过程，但本发明的保护范围不限于下述的实施例。

实施例

本实施例选择某发电厂 1000MW 超超临界锅炉，高温再热器管系采用图 1 所示的实施步骤方框示意图。

本实施例包括以下步骤：

第一步：通过预计算，筛出 1000MW 超超临界锅炉高温再热器管系中具有代表性的炉内壁温裕量最小的管子装设炉外壁温测量采集点》

1000M W 超超临界锅炉高温再热器共有 44 片屏，每片屏有 24 根管子。共计 1056 根管子计算 6336 个管段。

a、计算管段的焓增 Δia

$$\Delta ia = Kr^s (Q_{a1} + Q_{a2} + Q_{a3} + Q_{a4} + Q_{a5} + Q_{a6}) / ga$$

式中： K_r 为预计算所设定的宽度吸热偏差系数，取值 1.37； Q_4 为管段对流热量平均值； Q_5 为管段屏间辐射热量平均值； Q_6 为管段屏前辐射热量平均值； Q_{q3} 为管段前前辐射热量平均值； Q_7 为管段屏中辐射热量平均值； Q_8 为管段屏后辐射热量平均值； Q_9 为管段屏下辐射热量平均值；该 7 项热量的计算式与上述式 (1) ~ 式 (7) 相同。 g_a 为计算管段的蒸汽流量

b、计算点的蒸汽焓 i

$$i = i_j + \sum \Delta i$$

式中： i_j 为计算管进口蒸汽焓，取设计进口焓 3418kJ/kg； $\sum \Delta i$ 为从管子进口到计算点所有管段的蒸汽焓增之和。

c、计算点的工质温度 t

根据蒸汽的焓温表，由 i 得出工质温度 t 。

$$t_b = t + \beta q_m \left(\frac{1}{\alpha_2} \right)$$

式中： t 为计算点管内的蒸汽温度； β 为管子外径与内径之比； α_2 为内壁热量均流系数； α_2 为内壁与蒸汽之间的放热系数； q_m 为外壁沿周界最大热负荷；

e、计算点管壁温度：(热 δ 均分点温度)；

$$t_b = t + \beta q_m \left[\frac{1}{\alpha_2} + \frac{1}{\lambda(1+\beta)} \right]$$

式中： t 为监测点的管内蒸汽温度； β 为管子外径与内径之比； q_m 为监测点管子的外壁沿周界最大热负荷； α_2 为内涂热量均流系数； w_{pj} 为沿管壁厚度的平均热量均流系数； α_2 为内壁与蒸汽之间的放热系数。

f、计算点管子应力强度允许温度 $t_{yx} = f(\sigma_d)$

式中： σ_d 为计算点管子的动态应力值

g、计算点管子的管壁金属应力强度裕量 δt

$$\delta t = t_{yx} - t_b$$

式中：计算点管子金属的允许温度 t_{yx} ； t_b 为管壁温度 (管壁热 δ 均分点温度)。

②对上述温度裕量从小到大进行排序，取这种裕量最小的前 100 位确定沿同屏各管及沿锅炉宽度需要监测的管子。在上述温度裕量最小的前 100 位管子中，取占管屏中管子总数的 5~10% 的管子作为装设沿同屏各管及沿锅炉宽度炉外壁温测量采集点的布置方案。

进行裕量排序，取每片屏的并数第 5 管全部 44 根管子。各屏外数第 1 管中的 18 根管子，以及沿锅炉宽度的第 5、6 屏的各 12 根管子作为测量采集点。加上容易被安装异物堵塞的

管子，总计有 94 个测量采集点。

第二步：从电厂的 VeStore（也可以是 PL、EDNA、openPlant、Golden 等其他数据库）实时数据库中读取锅炉实时运行、炉外金属壁温等计算中需要的数据，并保存到本地服务器的关系型数据库中。

根据电厂提供数据库的 KKS 清单编号，整理出需要的数据点表（包含锅炉实时运行、过热器再热器炉外金属壁温等计算中需要的数据）。本地计算服务器通过 API 接口编辑数据的数据采集程序，在读取整理的数据表后，发出命令让电厂实时数据库根据数据读取软件所要求的格式（包含采集点地址、数值、时间等）把请求的数据按照每分钟 2 次的间隔和文件名发送到本地计算服务器所指定的位置，并实时保存到本地服务器的实时数据库或关系型数据库中。

第三步：实时动态计算管系中各监测点炉内工质温度和金属壁温。

步骤①中所述的计算管内实时工质温度、金属内壁温度和管壁温度，包括以下步骤：

①计算炉内各监测点的工质温度，金属内壁温度和管壁温度。其中：

a、计算工质流经管段的焓增 Δi_a ：

$$\Delta i_a = Kr (Q_a + Q_p + Q_q + Q_{qq} + Q_z + Q_h + Q_s) / ga \quad (16)$$

式中： Kr 为实际运行的宽度吸热偏差系数； Q_a 为管段对流热量平均值； Q_p 为管段屏间辐射热量平均值； Q_q 为管段屏前辐射热量平均值； Q_{qq} 为管段前前辐射热量平均值； Q_z 为管段屏中辐射热量平均值； Q_h 为管段屏后辐射热量平均值； Q_s 为管段屏下辐射热量平均值；该 7 项热量的计算式与上述式 (1) ~ 式 (7) 相同。 Kr 的计算式与式 (15) 相同。 ga 为计算管段的蒸汽流量。

b、计算点的蒸汽焓计算： $i = i_j + \sum \Delta i_i$

式中： i_j 为计算管进口蒸汽焓； $\sum \Delta i_i$ 为从管子进口到计算点所有管段的蒸汽焓增之和。

c、计算点的工质温度计算：根据蒸汽的焓温表，由 i 得出 t 。

本实施例预计算 6336 个计算管段的工质温度在 460℃ ~ 620℃ 之间。

d、管子的内壁温度 $b = t + \beta q_m \left(\frac{1}{\alpha_2} \right)$

式中： t 为计算点管内的蒸汽温度； β 为管子外径与内径之比； μ_m 为内壁热导率； α_2 为内壁与蒸汽之间的放热系数； q_m 为外壁沿周界最大热负荷。

e、监测点计算管子的外壁沿周界最大热负荷计算：

$$q_m = \eta Q_a / Hd + \phi (Q_p / H_p + Q_q / H_q + Q_{qq} / H_{qq} + Q_z / H_z + Q_h / H_h + Q_s / H_s)$$

式中： η 为对流热负荷增大系数； Q_a 为对流热量； H_q 为对流受热面积； ϕ 为辐射热负荷

曝光系数； Q_p 为屏后辐射热量； H_p 为屏后辐射面积； Q_q 为屏前辐射热量； i 为屏前辐射面； Q_{qq} 为屏前前辐射热量； H_{qq} 为屏前前辐射面积； Q_z 为屏中辐射热量； H_z 为屏中辐射面积； Q_h 为屏后辐射热量； H_h 为屏后辐射面积； Q_x 为屏下辐射热量； H_x 为屏下辐射面积。

f、管壁温度计算：

$$t_b = t + \beta i_{im} \left[\frac{\mu m}{a^2} + \frac{\delta_{ipj}}{\lambda(1+\beta)} \right]$$

式中： i 为监测点的管内蒸汽温度； β 为管子外径与内径之比； i_{im} 为监测点管子的并壁沿周界最大热负荷； μ 为内盘热量均流系数； μ_{pj} 为沿管壁厚度的平均热量均流系数； δ 为内盘与蒸汽之间的放热系数。

本实施例 1000 MW 超超临界电站锅炉高温再热器 6336 个计算点的炉内管壁热组均分点壁温的计算值范围在 570~660℃ 之间。

② 实时动态计算各监测点管壁金属应力强度超温值。

a、监测点计算管子金属的允许温度计算： $t_{yx} = f(\sigma_{di})$

式中： σ_{di} 为计算点管子的动态应力值，

b、管壁金属应力强度超温值 $\delta t = i_b - t_{yx}$

式中： t_b 为管壁温度； t_{yx} 为金属允许温度

③ 显示各监测点的工质温度、金属壁温、金属应力强度超温值、管子材料和规格

第四步 将超过管壁金属应力强度超温值部位金属管段的数据实时显示并存入超温汇总数据库。

④ 实时显示过热器和再热器管系炉内各监测点的工质温度、金属壁温（管壁热组均分点温度）、金属应力强度超温值、当前管段材料和规格；

⑤ 统计过热器和再热器管系各监测点管段的超温情况。

⑥ 统计各管组炉内各监测点管段的超温频次、超温值、超温时间的分布情况。

第五步：生成直观的分布图表，是指：超温值、超温时长、超温频次的分布图表。

用户可以按管组屏号为横坐标、以超温频次、超温值、超温时间为纵坐标，以散点矢量图和表格的方式显示前 100~800 管段的超温频次、超温值、超温时间的分布图和分布表。当鼠标放到各散点上时出现鼠标响应框，内容为该计算点管段的部位、材料规格，超温时间。

本实施例的经济和社会效益；

实时地监测 1000 MW 的机组壁温即能有效控制高温管子的超温，一年避免一次因超温而引起的爆管，可减少损失一般高达 944 万元；避免高温过热器和高温再热器降参数运行方面；

如避免降参数 15℃, 供电煤耗将降低 2.25 g/kWh, 年节省 12 000 吨标煤, 经济效益 《 备 万元 ;
年减少 CO₂ 排放量 34 000 吨 ; 减少 NO_x 排放 13.21 吨 (按照 450mg/Nm³); 减少 SO_x 排放
4.54 吨 (按照 200mg/ Nm³)。

权利要求书

1、一种电站锅炉高温管系炉内动态壁温监测的方法，其特征在于，包括以下步骤：

步骤 1、通过预计算，得出管组中具有代表性的炉内壁温裕量最小的管子装设炉外壁温测量采集点；

步骤 2、从电厂实时数据库中读取锅炉实时运行、炉外壁温等计算中需要的数据，保存到本地服务器的关系型数据库中；

步骤 3、根据实时运行和炉内金属壁温的实时数据，对电站锅炉过热器和再热器管系炉内工质温度和金属壁温生成实时动态计算；

步骤 4、从步骤 3 计算结果中分离出超过管壁金属应力强度超温值部位金属管段的数据实时显示并存入超温汇总数据库；

步骤 5、根据各监测管段的超温频次、超温增加幅度、超温时间的分布情况，按照排序自动生成直观分布图表。

2、根据权利要求 1 所述的电站锅炉高温管系炉内动态壁温监测的方法，其特征是，步骤 1 所述的预计算，就是在锅炉设计阶段预先计算沿锅炉宽度吸热量最大的偏差屏中所有管子各管段管壁金属应力强度壁温裕量，用以找出管屏中容易超温爆管的最危险的管子。

3、根据权利要求 2 所述的电站锅炉高温管系炉内动态壁温监测的方法，其特征是，获得所述的管壁金属应力强度壁温裕量，包括以下步骤：

a、计算管段的对流热量平均值 Q_d

$$Q_d = \xi_d K h \alpha_d A_p H_p (\theta - t_s) \quad (1)$$

式中： ξ_d 为对流传热偏差系数， $K h$ 为高度热负荷偏差系数， α_d 为对流放热系数， H_p 为对流受热面积， θ 为烟气温度， t_s 为管子积灰表面温度；

b、计算屏间辐射热量平均值 Q_p

$$Q_p = \xi_p K h \sigma_0 a_{s,p} H_p \left[(\theta_p + 273)^4 - (t_s + 273)^4 \right] \quad (2)$$

式中： ξ_p 为屏间辐射偏差系数， $K h$ 为高度热负荷偏差系数， σ_0 为波尔茨曼辐射常数， $a_{s,p}$ 为系统杂射黑度， $a_{p,p}$ 为屏筒烟釜黑度， H_p 为屏间辐射面积， θ_p 为屏间烟气温度； t_s 为管子积灰表面温度；

c、计算屏前辐射热量平均值 Q_q

$$Q_q = \xi_q K_h \sigma_0 a_{si} a_{sq} H_q [(\theta_q + 273)^4 - (t_s + 273)^4] \quad (3)$$

式中： ξ_q 为屏前辐射偏差系数， K_h 为高度热负荷偏差系数， σ_0 为波尔茨曼辐射常数， a_{si} 为系统辐射黑度， a_{sq} 为屏前烟室黑度， H_q 为屏前辐射面积， θ_q 为屏前烟气温度， t_s 为管子积灰表面温度；

d、计算屏前前烟室辐射热量平均值 Q_{qq}

屏前前辐射热量平均值为：

$$Q_{qq} = \xi_{qq} K_h \sigma_0 a_{si} a_{qq} (1 - x_{gp}) C S a_q H_{qq} [(\theta_{qq} + 273)^4 - (t_s + 273)^4] \quad (4)$$

式中： ξ_{qq} 为屏前前辐射偏差系数， K_h 为高度热负荷偏差系数， σ_0 为波尔茨曼辐射常数， a_{si} 为系统辐射黑度， a_{qq} 为屏前前烟室黑度， x_{gp} 为屏前烟室进口管排的角系数， a_q 为屏前烟室黑度， H_{qq} 为屏前前辐射面积， θ_{qq} 为屏前前烟室的烟温， t_s 为管子积灰表面温度；

e、计算屏中辐射热量平均值 Q_z

$$Q_z = \xi_z K_h \sigma_0 a_{si} a_z H_z [(\theta_z + 273)^4 - (t_s + 273)^4] \quad (5)$$

式中： ξ_z 为屏中辐射偏差系数， K_h 为高度热负荷偏差系数， σ_0 为波尔茨曼辐射常数， a_{si} 为系统辐射黑度， a_z 为屏中烟室黑度， H_z 为屏中辐射面积， θ_z 为屏中烟气温度， t_s 为管子积灰表面温度；

f、计算屏后辐射热量平均值 Q_b

$$Q_b = \xi_b K_h \sigma_0 a_{si} a_b H_b [(\theta_b + 273)^4 - (t_s + 273)^4] \quad (6)$$

式中： ξ_b 为屏后辐射偏差系数， K_h 为高度热负荷偏差系数， σ_0 为波尔茨曼辐射常数， a_{si} 为系统辐射黑度， a_b 为屏后烟室黑度， H_b 为屏后辐射面积， θ_b 为屏后烟气温度， t_s 为管子积灰表面温度；

g、计算屏下辐射热量平均值 Q_x

$$Q_x = \xi_x K_h \sigma_0 a_{si} a_x H_x [(\theta_x + 273)^4 - (t_s + 273)^4] \quad (7)$$

式中： ξ_x 为屏下辐射偏差系数， K_h 为高度热负荷偏差系数， σ_0 为波尔茨曼辐射常数， a_{si} 为系统辐射黑度， a_x 为屏下烟室黑度， H_x 为屏下辐射面积， θ_x 为屏下烟气温度， t_s 为管子积灰表面温度；

h、计算管段的焓增 Δh

$$\Delta h = K_r^s (Q_a + Q_p + Q_q + Q_{qq} + Q_z + Q_b + Q_x) / G_a \quad (8)$$

式中： K_r^s 为预计筛所设定的宽度吸热偏差系数， G_a 为管段

屏间辐射热量平均值, Q_p 为管段屏前辐射热量平均值, Q_{qq} 为管段前前辐射热量平均值, Q_q 为管段屏中辐射热量平均值, Q_b 为管段屏后辐射热量平均值, Q_x 为管段屏下辐射热量平均值, G 为计算管段的蒸汽流量;

i、计算管段的蒸汽焓;

$$i = i_j + \sum \Delta i \quad (9)$$

式中: i_j 为计算管的进口蒸汽焓, 取用设计值; $\sum \Delta i$ 为从管子进口到计算点所有管段的蒸汽焓增计算值之和;

j、计算管段的工质温度 i

根据蒸汽的焓温表, 由 i 得出 t ;

k、计算管段外壁沿周界最大热负荷 q_m

$$q_m = \eta Q_b / F_p + \varphi (Q_p / H_p + Q_q / H_q + Q_{qq} / H_{qq} + Q_x / H_x + Q_b / H_b + Q_x / H_x) \quad (10)$$

式中: η 为对流热负荷增大系数, Q_b 为对流热量, F_p 为对流受热面积, φ 为辐射热负荷曝光系数, Q_p 为屏前辐射热量, H_p 为屏前辐射面积, Q_q 为屏中辐射热量, H_q 为屏中辐射面积, Q_{qq} 为屏前前辐射热量, H_{qq} 为屏前前辐射面积, Q_x 为屏后辐射热量, H_x 为屏后辐射面积, Q_b 为屏下辐射热量, H_b 为屏下辐射面积;

l、计算管段的金属内壁温度 i_{nb}

$$i_{nb} = t + \beta q_m \left(\frac{\mu_m}{\alpha_2} \right) \quad (11)$$

式中: t 为计算管段工质温度; β 为管子外径与内径之比; μ_m 为内壁热量均流系数; α_2 为内腔与蒸汽之间的放热系数; q_m 为外壁沿周界最大热负荷;

m、计算管段的管壁温度 (热阻均分点温度) t_b

$$t_b = t + \beta q_m \left[\frac{\mu_m}{\alpha_2} + \frac{\delta \mu_j}{\lambda(1 + \beta)} \right] \quad (12)$$

式中: t 为计算管段工质温度; β 为管子外径与内径之比, q_m 为计算管段的外壁沿周界最大热负荷, μ_m 为内腔热量均流系数, μ_j 为沿管壁厚度的平均热量均流系数, α_2 为内壁与蒸汽之间的放热系数;

n、计算监测点管子金属的允许温度 t_{yx}

$$t_{yx} = f(\sigma dt) \quad (13)$$

式中: σdt 为计算点管子的动态应力值;

o、计算监测点管子的管壁金属应力强度系数 σ

$$\delta t = t_{yx} - t_b \quad (14)$$

式中： t_{yx} 为管子金属的允许温度； t_b 为管键温度。

4、根据权利要求 3 所述的电站锅炉高温管系炉内动态壁温监测的方法，其特征是，步骤 a 所述的计算管段的对流热量平均值 Q_c ，根据计算管段在管屏中所处的位置 γ 由烟气对各排管子的对流传热偏差，计算得到管段的对流传热偏差系数 ξ_{cd} 。

5、根据权利要求 3 所述的电站锅炉高温管系炉内动态壁温监测的方法，其特征是，步骤 b 所述的屏间辐射偏差系数，根据计算管段在管屏中所处的中间管、首排管、紧靠一片屏侧面的管子、两边节距不等管子的位置，由屏内烟气对各种类型管子的屏间辐射角系数，计算得到各管段的屏间辐射偏差系数 ξ_{sp} 。

6、根据权利要求 3 所述的电站锅炉高温管系炉内动态壁温监测的方法，其特征是，步骤 c 所述的屏前辐射偏差系数，根据计算管段在管屏中垂直于屏前辐射所处的第 1、1、3、... 排的位置，由屏前烟气对各排管子的辐射角系数，计算得到各管段的屏前辐射偏差系数 ξ_{sq} 。

7、根据权利要求 3 所述的电站锅炉高温管系炉内动态壁温监测的方法，其特征是，步骤 d 所述的前前辐射偏差系数，根据计算管屏烟气上游高温管屏屏间烟室的辐射热量，透过计算管屏的进口管排和屏前烟室，对计算管段的箱射角系数，计算得到各管段的前前辐射偏差系数 ξ_{sq} 。

8、根据权利要求 3 所述的电站锅炉高温管系炉内动态壁温监测的方法，其特征是，步骤 e 所述的屏中辐射偏差系数，根据计算管段在管屏中垂直于屏中辐射所处的第 1、2、3、... 排的位置，由屏中烟气对各排管子的辐射角系数，计算得到管段的屏中辐射偏差系数 ξ_{sk} 。

9、根据权利要求 3 所述的电站锅炉高温管系炉内动态壁温监测的方法，其特征是，步骤 i 所述的屏后辐射偏差系数，根据计算管段在管屏中垂直于屏后辐射所处的第 1、2、3、... 排的位置，由屏后烟气对各排管子的辐射角系数，计算得到管段的屏后辐射偏差系数 ξ_{sk} 。

10、根据权利要求 3 所述的电站锅炉高温管系炉内动态量温监测的方法，其特征是，步骤 g 所述的屏下辐射偏差系数，根据计算管段在管屏中垂直于屏下辐射所处的第 1、2、3、... 排的位置，由屏下烟气对各排管子的辐射角系数，计算得到管段的屏下辐射偏差系数 ξ_x 。

11、根据权利要求 1 或者 2 所述的电站锅炉高温管系炉内动态壁温监测的方法，其特征是，步骤 1 所述的通过预计算选择测量采集点，方法如下：

① 通过预计算，找出管屏中容易超温爆管的最危险的管子；

② 对壁温裕量从小到大进行排序，取裕量最小的前 100 位确定沿同片各管及沿锅炉宽度需要监测的管子。

12、根据权利要求 1 所述的电站锅炉高温管系炉内动态壁温监测的方法，其特征是，所述的通过预计算选择测量采集点，在前 100 位壁温裕量最小的管子中，取 ω -管屏中管子总数的 5~20% 的管子作为装设沿闻屏各管及沿锅炉宽度炉外壁温测量采集点的布置方案。

13、根据权利要求 1 所述的电站锅炉高温管系炉内动态壁温监测的方法，其特征是，步骤 2 所述的保存到本地服务器的关系型数据库，方法如下：

① 从电厂提供数据库的 KKS 清单编号中，包含锅炉实时运行、过热器再热器炉外金属壁温数据的点表清单；

② 本地计算服务器通过 API 接口编制数据采集程序，在读取点表清单后，发出命令让电厂实时数据库按要求的格式生成数据文件；

③ 电厂实时数据库把请求的数据按照每分钟 2 次的间隔和文件名发送到本地计算服务器所指定的位置；

④ 实时保存到本地服务器的实时数据库或关系型数据库中。

14、根据权利要求 1 所述的电站锅炉高温管系炉内动态壁温监测的方法，其特征是，步骤 3 中所述的工质温度和金属壁温生成实时动态计算，包括以下步骤：

① 核算出炉内各屏各管的监测点管内实时工质温度、金属内壁温度、管壁厚度；

② 计算出管子管壁金属应力强度超温逾；

③ 以动态矢量图、折线图和表格结合动态鼠标响应的方式显示过热器和再热器管系炉

内各监测点的工质温度、管壁温度、金属应力强度超温值、材料和规格。

15、根据权利要求 14 所述的电站锅炉高温管系炉内动态超温监测的方法，其特征是，获得步骤①中所述的计算管内实时工质温度、金属内腔温度和管壁温度，包括以下步骤：

a、计算管段的对流热量平均值 Q_d 、屏间辐射热量平均值 Q_p 、屏前辐射热量平均值 Q_q 、屏前前烟室辐射热量平均值 Q_{qq} 、屏中辐射热量平均值 Q_z 、屏后辐射热量平均值 Q_h 、屏下辐射热量平均值 Q_x ；

b、计算实际运行的宽度吸热偏差系数 K_r

$$K_r = Q_{js} / Q_{pj} \quad (15)$$

式中： Q_{js} 为计算管屏的吸热量； Q_{pj} 为各管屏的平均吸热量；

c、计算管段的焓增 Δi_a

$$\Delta i_a = K_r (Q_d + Q_p + Q_q + Q_{qq} + Q_z + Q_h + Q_x) / G_a \quad (16)$$

式中： K_r 为实际运行的宽度吸热偏差系数、 Q_d 为管段对流热量平均值、 Q_p 为管段屏间辐射热量平均值、 Q_q 为管段屏前辐射热量平均值、 Q_{qq} 为管段前烟室辐射热量平均值、 Q_z 为管段屏中辐射热量平均值、 Q_h 为管段屏后辐射热量平均值、 Q_x 为管段屏下辐射热量平均值、 G_a 为计算管段的蒸汽流量；

d、计算管段的蒸汽焓 i

$$i = i_j + \sum \Delta i_i \quad (17)$$

式中： i_j 为实际运行管屏的进口蒸汽焓； $\sum \Delta i_i$ 为从管子进口到监测点所有管段的蒸汽焓增计算值之和；

e、计算监测点的工质温度 t

根据蒸汽的焓温表，由 i 得出 t ；

f、计算监测点外壁沿周界最大热负荷 q_m ；

g、计算监测点的金属内壁温度 t_{mb} 、管壁温度。

16、根据权利要求 14 所述的电站锅炉高温管系炉内动态超温监测的方法，其特征是，获得步骤②中所述的管子管壁金属应力强度超温值，包括以下步骤：

a、计算监测点管子的金属允许温度 t_{yx}

$$t_{yx} = f(\sigma_d) \quad (18)$$

式中： σ_{dt} 为计算点管子的动态应力值；

b、计算监测点管子的管壁金属应力强度超温值 Δt

$$A = \frac{t_b - t_{ys}}{t_{ys}} \quad (19)$$

式中： t_b 为管壁温度； t_{ys} 为管子的金属允许温度。

17、 β 权利要求 14 所述的电站锅炉高温管系炉内动态壁温监测的方法，其特征是，步骤③中所述的显示过热器和再热器管系炉内各监测点的工质温度、金属温度；金属应力强度超温值、材料和规格，是指：用户在“汽温和壁温监测报警”菜单中选择屏间和同屏方式显示某一个管段沿屏筒方向的汽温和壁温分布显示或者选择某一片管屏所有管子所有管段的汽温和壁温分布情况显示；当金属材料应力超温时，颜色变为红色报警；当鼠标点到各管状图上时，都会出现相应计算点管段的鼠标响应，其内容包括：当前点所在的位置、当前动态的工质温度、金属壁温、当前管壁金属应力强度超温值、材料和规格。

18、根据权利要求 1 所述的电站锅炉高温管系炉内动态壁温监测的方法，其特征是，步骤 4 中所述的存入超温汇总数据库，包括：记录和显示超温累计时长、幅度、频次和各超温时段的锅炉运行状态的数据，其步骤如下：

①按各计算点管段每次的超过应力允许温度时刻为触发点的一个小时为记录时长并把每个时长中的锅炉电功率、主汽温度、最高壁温和最高壁温时刻、材料规格记入数据库，并可按管组进行材料应力超温统计查询；

②按管组屏号为横坐标、以超温频次、超温值、超温时间为纵坐标，以散点矢量图和表格的方式显示前 100-800 管段的超温频次、超温值，超温时间的分布图 and 分布表；

③当鼠标放到各散点上时出现鼠标响应框，内容为读计算点管段的部位、材料规格及超温时间。

19、根据权利要求 1 所述的电站锅炉高温管系炉内动态壁温监测的方法，其特征是，步骤 5 中所述的分布图表，是指：超温值，超温时长、超温频次的分布图表。

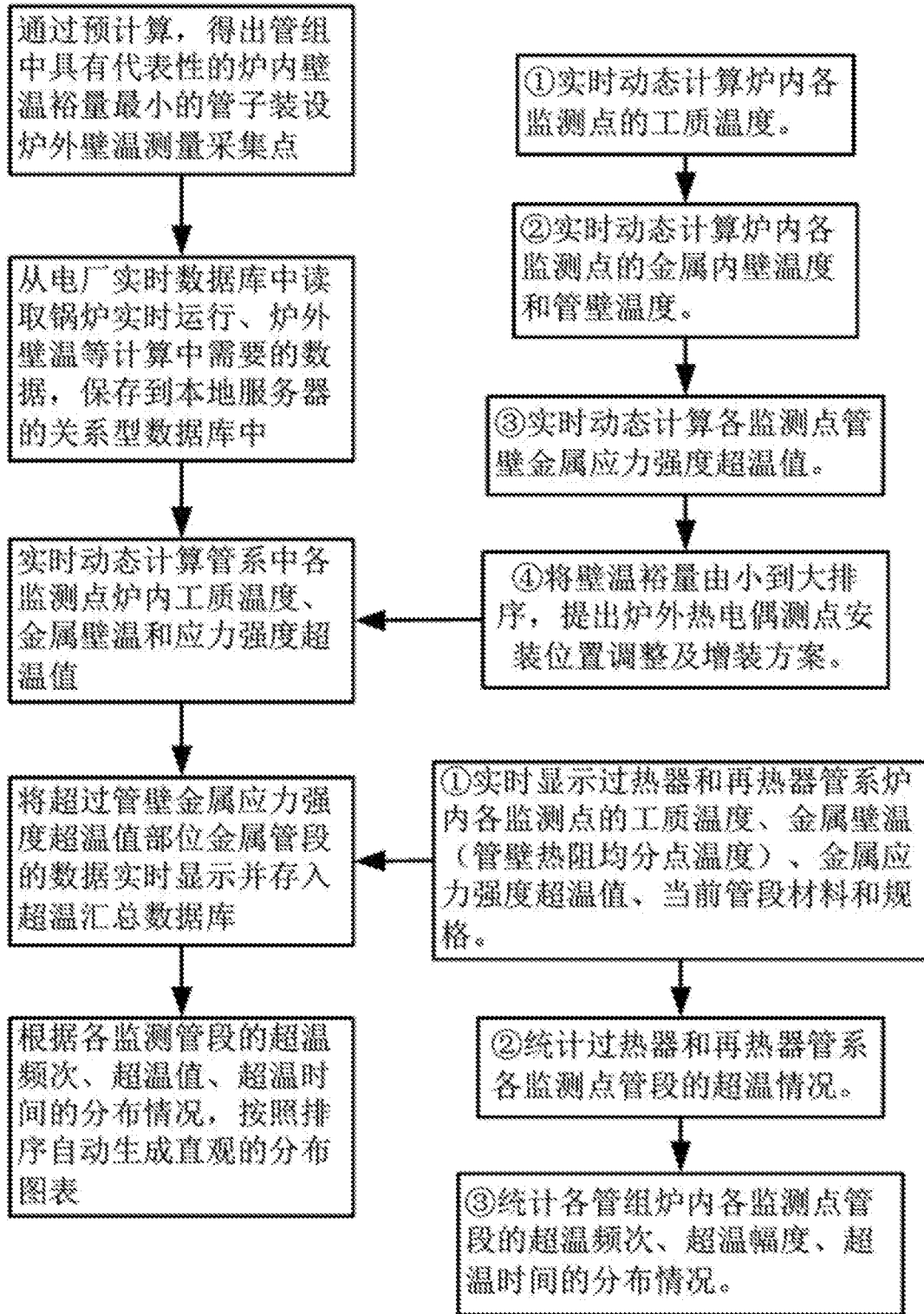


图 1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2012/086140

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

See the extra sheet

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC: F22B35; F22B37

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT; CNKI; WPI; EPODOC: KKS, API, pipe?, tube?, duct?, temperature, furnace?, boiler?, data+, monitor+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 102494325 A (SHANGHAI WANGTE ENERGY RESOURCE SCI&TE) 13 June 2012 (13.06.2012) claims 1-19, description, paragraphs [0013]-[0068], [0074]-[0113] and figures 1-4	1-19
X	CN 101832543 A (SHANGHAI INST POWER GENERATION POWER GENERATION COMPLETE SET et al.) 15 September 2010 (15.09.2010) description, paragraphs [0031]-[0069] and figure 1	1, 19
A	CN 101551650 A (SHANXI SHENGSHI HUIHUANG INTELLIGENT SCI&TECHNOLOGYLTD) 07 October 2009 (07.10.2009) the whole document	1-19
A	CN 101216164 A (UNIV XIAN JIAOTONG) 09 July 2008 (09.07.2008) the whole document	1-19
A	CN 1877193 A (WANG, Menghao) 13 December 2006 (13.12.2006) the whole document	1-19
A	CN 102032548 A (XIAN THERMAL POWER RES INST CO LTD) 27 April 2011 (27.04.2011) the whole document	1-19
A	JP 2005147797 A (BABCOCK-HITACHI K K et al.) 09 June 2005 (09.06.2005) the whole document	1-19

II Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 18 February 2013 (18.02.2013)	Date of mailing of the international search report 14 March 2013 (14.03.2013)
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China [Facsimile No. 86-10-62019451	Authorized officer SUN, Jie Telephone No. (86-10) 62084190

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2012/086140

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 102494325 A	13.06.2012	None	
CN 101832543 A	15.09.2010	None	
CN 101551650 A	07.10.2009	None	
CN 101216164 A	09.07.2008	CN 101216164 B	10.11.2010
CN 1877193 A	13.12.2006	None	
CN 102032548 A	27.04.2011	CN 102032548 B	23.05.2012
JP 2005147797 A	09.06.2005	None	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2012/086140

CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F22B 35/18 (2006.01) i

F22B 37/38 (2006.01) i

A. 主题的分类

参见附加页

按照国际专利分类(IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

IPC: F22B35 , F22B37

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CNPAT; CNKI; WPI; EPODOC : 上海望特能源科技有限公司, 炉, 窑, 监测, 监控, 壁温, 管, K K S , A P I , 对流' 热量, 辐射' 负荷' PIPE?, TUBE?, DUCT?, TEMPERATURE, FURNECE?, BOILER?, DATA+, MONITOR+

C. 相关文件

类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN102494325A (上海望特能源科技有限公司) 13.6 月 2012 (13.06.2012) 权利要求 1-19, 说明书 0013-0068 段、0074-0113 段, 图 1-4	1-19
X	CN101832543A (上海发电设备成套设计研究院等) 15.9 月 2010 (15.09.2010) 说明书第 003 1-0069 段, 图 1	1, 19
A	CN101551650A (陕西世盛辉煌智能科技有限公司) 07. 10 月 2009 (07. 10.2009) 全文	1-19
A	CN101216164A (西安交通大学) 09.7 月 2008 (09.07.2008) 全文	1-19
A	CN1877193A (王孟浩) 13. 12 月 2006 (13. 12.2006) 全文	1-19
A	CN102032548A (西安热工研究院有限公司) 27.4 月 201 1 (27.04.201 1) 全文	1-19
A	JP2005 147797 A (BABCOCK-HITACHI K K 等) 09.6 月 2005 (09.06.2005) 全文	1-19

其余文件在 C 栏的续页中列出。



见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

"A" 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

"E" 在国际申请日的公布在先申请或

"L" 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇

引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)

"O" 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

"P" 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

"T" 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触!, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

"X" 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

"Y" 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

"&" 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期
18.2 月 2013 (18.02.2013)

国际检索报告邮寄日期
14.3 月 2013 (14.03.2013)

ISA/CN 的名称和邮寄地址:
中华人民共和国国家知识产权局
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路 6 号 100088
传真号: (86-10)62019451

授权官员
孙洁
电话号码: (86-10) 62084 190

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2012/086140

检索报告中引用的 专利文件	公布日期	同族专利	公布日期
CN102494325A	13.06.2012	无	
CN101832543A	15.09.2010	无	
CN10155 1650A	07. 10.2009	无	
CN101216164A	09.07.2008	CN101216164B	10. 11.2010
CN1877193A	13. 12.2006	无	
CN102032548A	27.04.201 1	CN102032548B	23.05.2012
JP2005 147797A	09.06.2005	无	

主题的分类

F22B 35/18 (2006.01) i

F22B 37/38 (2006.01) i