

DOI:10.3969/j.issn.1674-1951.2019.10.011

鉴江高岭拦河闸 2 × 250 kN 固定卷扬式 启闭机设计

Design for 2 × 250 kN fixed winch hoists for the
Jianjiang Gaoling Sluice

雷海¹, 史田明², 徐宜桢³
LEI Hai¹, SHI Tianming², XU Yizhen³

(1. 水利部产品质量标准研究所, 杭州 310012; 2. 郑州水工机械有限公司, 郑州 450042;
3. 郑州华润燃气股份有限公司, 郑州 450000)
(1. Standard and Quality Control Research Institute, Ministry of Water Resources, Hangzhou 310012, China;
2. Zhengzhou Hydraulic Machinery Company Limited, Zhengzhou 450042, China;
3. Zhengzhou CR Gas Company Limited, Zhengzhou 450000, China)

摘 要:介绍了鉴江高岭拦河闸重建工程升卧式工作闸门 2 × 250 kN 固定卷扬式启闭机的整体布置和主要技术参数。对启闭机的总体设计方案和零部件的选型进行了比较和分析,对较长同步轴的引出位置和防挠支撑方式进行了探讨并给出解决方案,对水平受力的多支点机架基础荷载通过 ANSYS 软件进行了计算分析,并提出水平抗滑移措施。2 × 250 kN 固定卷扬式启闭机安装后,各项技术指标均满足设备招标书和规范规定;各类安全保护装置动作准确可靠,钢丝绳在卷筒上多层缠绕排列均匀;闸门升降顺利,未出现偏斜现象,闸门从直立到平卧以及从平卧到直立的状态转换平滑、连续;同步轴运行平稳无振动,说明同步轴的引出位置和中部分支撑设置合理。

关键词:鉴江高岭拦河闸;固定卷扬启闭机;升卧式工作闸门;同步轴;基础荷载

中图分类号:TV 864 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-1951(2019)10-0048-05

Abstract:The overall layout and main technical parameters of 2 × 250 kN fixed winch hoists for the lifting-lying operating gate of Jianjiang Gaoling Sluice Reconstruction Project are introduced. The overall design scheme and component selection of the hoist are compared and analyzed. The extraction position and the stiffener selection for the long synchronous shaft are discussed and the solution is given. The base load for multi-pivot bracket under horizontal force is calculated and analyzed by ANSYS software, and measures for anti-slip on horizontal direction are proposed. After the installation of 2 × 250 kN fixed winch hoists, all technical indicators have met the bidding documents and specifications; all kinds of protection devices are operating accurately and reliably, and the steel wire ropes are evenly wound on the reel; no deflection occurs during lifting and the state of the gate switches between upright and lying smoothly; the synchronous shaft runs smoothly without vibration. These indicate that the arrangement for extraction position and the central support of synchronous shaft are reasonable.

Keywords:Jianjiang Gaoling Sluice; fixed winch hoist; lifting-lying operating gate; synchronous shaft; base load

1 工程简介

高岭拦河闸位于广东省化州市杨梅镇高岭村东面、鉴江河下游、化州水文站以下 8 km 处,属鉴江第 4 级拦河工程。工程是以灌溉、供水为主,结合航运的大型拦河水闸工程,工程等级为 I 等,工程规模为大(1)型。主要建筑物有拦河水闸、两岸连接土坝、

左右岸水轮泵站、船闸等。其中 2 × 250 kN 固定卷扬启闭机布置在拦河闸工作闸门上部排架上,启闭机安装高程 16.50 m,用于启闭拦河闸升卧式工作闸门,共 16 台。

2 启闭机组成及主要技术参数

2.1 启闭机的组成

2 × 250 kN 固定卷扬式启闭机主要由传动机构、应急操作装置、机架、电气控制设备和安全保护系统

等组成^[1-2]。传动机构由电动机、联轴器、制动器、减速器、卷筒装配、导向滑轮和同步轴等组成;安全保护系统包括高度指示保护、荷载限制保护和其他必要的电气保护等。

2×250 kN 固定卷扬启闭机采用分别驱动方式,2 套传动机构通过同步轴进行同步^[3-4]。整机无定滑轮组,钢丝绳由卷筒近乎水平引出,经导向滑轮 90° 转弯后与闸门吊耳连接,吊点设在闸门下部靠近底缘处。门槽主轨由顶部水平段、转弯弧形段和门槽直立段 3 段组成。起升闸门时,电动机正向运转,钢丝绳收进卷筒,闸门在门槽直立段向上运动,当升至轨道转弯段时,由于吊头的偏心作用,闸门逐渐翻转,直至完全平卧,即起升时闸门的动作状态由直立运行翻转 to 平卧。关闭闸门时,电动机反向运转,钢丝绳放出卷筒,闸门的动作状态与起升时相反,即由平卧翻转到直立。

2.2 启闭机主要技术参数

额定启门力,2×250 kN;起升高度,15.00 m;启门速度,1.49 m/min;吊点距,14.72 m;卷筒直径,0.88 m;倍率,1;钢丝绳型号,44ZAA6×K36WS+IWR1870;工作制动器型号,TSS-L250/E30;减速器型号,JCHC500;传动比,1 406;电动机型号,HK160 L-8;电机功率,7.5 kW;荷载限制器,ZX-50t;高度指示装置,BGD400;应急操作装置型号,HGTD-20;整机工作级别,Q3-中。

3 主要设计特点

3.1 方案的确定

根据招标文件规定,启闭机需采用闭式齿轮传动机构和机械轴同步方式,并需配置应急操作装置和双工作制动器。为此,对启闭机进行了多方案的比较与分析,在符合 SL 41—2018《水利水电工程启

闭机设计规范》^[5](以下简称 SL 41—2018)及招标文件的情况下,尽可能降低设备制造成本,以求得到最优方案。经初步筛选,共拟出 4 个方案进行了比选。

方案 1 采用 1 台电动机驱动 1 台减速器的集中驱动方式。电动机和减速器均设在同一侧机架上,在减速器输入端,每侧各布置 1 台工作制动器;在减速器中间低速端设置双侧轴伸,一侧通过卷筒联轴器与卷筒直接连接,另一侧则通过传动轴与另一吊点的卷筒连接(如图 1 所示)。应急操作装置安装在电动机尾端^[6]。

方案 2 采用 1 台电动机驱动 3 台减速器的集中驱动方式,即所谓“三机架方案”。其中 2 台大减速器型号相同,分别通过卷筒联轴器直接与每个吊点的卷筒连接。小减速器位于传动轴的中部,通过传动轴与两侧的大减速器连接(如图 2 所示)。在小减速器的输入轴端,每侧各安装一套工作制动器,应急操作装置安装在电动机尾端。

方案 3 是在方案 2 的基础上,将中间部位的电动机、小减速器、应急操作装置及中部机架等移到一侧吊点,使小减速器的一端输出轴通过联轴器直接与大减速器连接,另一端则通过传动轴与另一吊点的大减速器连接(如图 3 所示)。

方案 4 为分别驱动方案,每个吊点都有单独的电动机、减速器和制动器,且每台减速器输入轴端的两侧各安装 1 台工作制动器,整机共设 4 台制动器。减速器的低速轴端采用单轴伸结构,通过卷筒联轴器或齿轮轴端与卷筒相连接。两套传动机构通过机械同步轴实现同步,同步轴既不在输入轴上,也不在末级输出轴上,而是从减速器的中间位置引出^[7-8](如图 4 所示)。

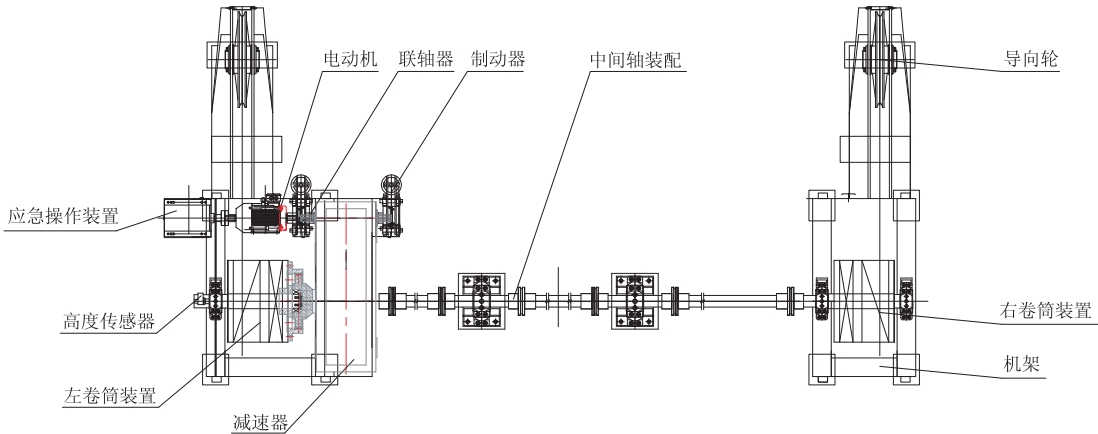


图 1 启闭机平面布置方案 1
Fig.1 Scheme 1 of hoist layout

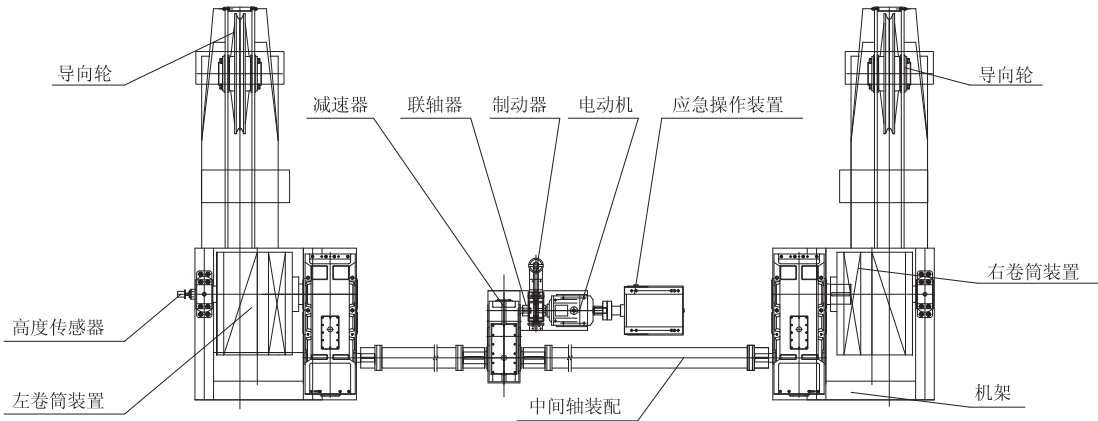


图 2 启闭机平面布置方案 2
Fig.2 Scheme 2 of hoist layout

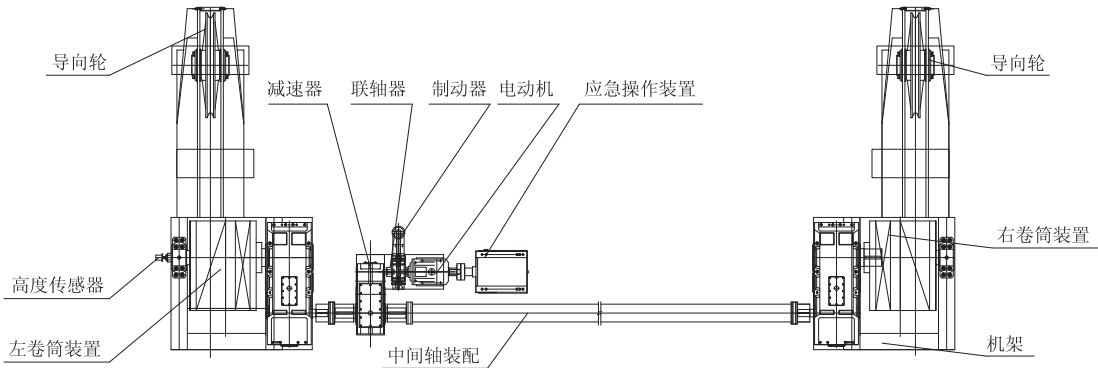


图 3 启闭机平面布置方案 3
Fig.3 Scheme 3 of hoist layout

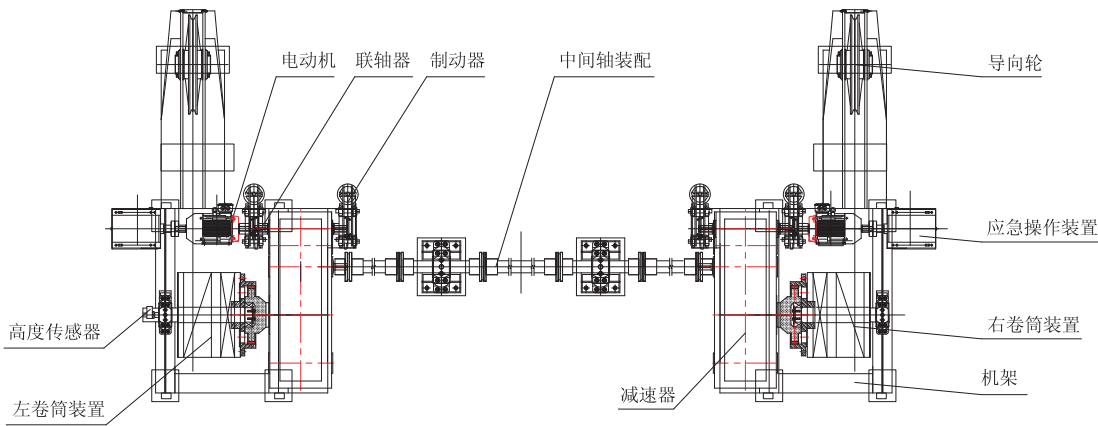


图 4 启闭机布置方案 4
Fig.4 Scheme 4 of hoist layout

3.2 方案比较和分析

升卧式闸门的启闭机钢丝绳与闸门直接相连,滑轮系统仅设导向轮,按照 SL 41—2018 的规定,当启闭机工作级别为 Q_3 时,钢丝绳的最小安全系数为 5.5。经计算,钢丝绳直径最小为 44 mm,卷筒直径最小为 $20 \times 44 = 880$ (mm)。

方案 1 的电机功率为 15.0 kW,减速器输出轴最大扭矩 $240 \text{ kN} \cdot \text{m}$,传动比约 1 400。由于输出扭矩和传动比较大,根据目前已有的标准减速器样本无法选到合适的减速器。如进行非标设计,其研发

周期较长,无法满足工程建设进度要求,且成本较高,经济性相对较差。

方案 2 将减速器分为 2 大 1 小,由 1 台小减速器驱动 2 台大减速器,每台大减速器的输出轴扭矩减小为 $120 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 左右,目前市场上可以供货,但缺点是需在闸墩之间增设机架桥,这将增加土建工程量。

方案 3 克服了方案 2 的缺点,但由于其中一侧机架上需要并排布置 2 台减速器以及电动机等,其平面尺寸较大,需要在这一侧的闸墩设置较大的平

台,同样需要增加土建工程量。

方案 4 为分别驱动方案(如图 4 所示),即每个吊点都有独立的驱动机构。2 个吊点的启闭机尺寸完全一致,中间部位不需设置平台,机架平面尺寸也较小,水工建筑物布局合理,结构简单,设计难度较小。该方案最大优点是电动机功率可降至 7.5 kW,减速器输出端扭矩亦可降至 120 kN·m,当减速器传动比在 1 400 左右时,选用现有标准产品即可,无需开发研制非标准减速机,便于制造、安装和维护。

经过比较分析,最终确定采用方案 4。

3.3 同步轴位置及支承形式的确定

双吊点卷扬式启闭机的同步轴通常设置在减速器的输出轴端,由于速度较低,一般可不计算轴的临界转速,缺点是同步轴尺寸和质量均较大,制造成本较高,特别对大型或超大型启闭机来说,这一缺点更加突出。当吊点间距不大时,有时也将同步轴设置在高速输入轴端,优点是同步轴尺寸和质量均较小,制造成本较低。但当转速大于 400.0 r/min 时,除计算强度、刚度外,还需验算轴的临界转速,以避免轴发生较大振动引起共振而引发安全事故。

为使同步轴既满足强度、刚度和防振要求,又不使轴的尺寸过大、过重,设计中对启闭机同步轴的引出位置进行了方案比较和分析。

3.3.1 同步轴位置的确定

该启闭机的减速器为四级传动,除高速输入轴和末级输出轴可供同步轴连接外,还可从 1~3 级中的任一级传动的低速端引出轴伸连接同步轴。若同步轴从第 4 级的低速轴端引出,按 1 倍额定荷载计算,所选联轴器规格及同步轴直径均较大,制造成本较高。若同步轴从高速输入轴引出,尽管所选联轴器的规格与同步轴直径较小,成本较低,但由于轴的转速大于 400.0 r/min,轴的临界转速验算通不过,存在安全隐患。为确定最佳同步轴引出位置,设计中分别从 1 级、2 级和 3 级传动的低速端引出同步轴,并进行技术经济分析对比,发现从一级传动的低速端引出同步轴即可满足同步轴尺寸小、质量小、不产生共振的要求。一级传动的速比为 14.6,则该级

传动低速轴的转速为 $720/14.6=49.3\text{ (r/min)}$,根据 SL 41—2018 规定,转速不大于 400.0 r/min 的长轴无需考虑共振问题。从 2 级和 3 级传动引出同步轴时,轴的转速更低,运转更加平稳,但轴和联轴器的尺寸、质量和制造成本明显加大。故本启闭机采用从减速器 1 级传动的低速端引出同步轴^[9-10]。

3.3.2 同步轴支撑形式的确定

对于不太长的同步轴,通常两端各设 1 个联轴器即可,中部无需设置支撑。但对于较长的同步轴,自重引起的挠度较大,中部必须设置支撑。该启闭机的吊点间距接近 15 m,属于超长同步轴,经计算,无论轴采用实心还是空心,其挠度均不能满足 SL 41—2018 的要求。为减小轴的挠度,必须在轴的中部增加支撑。一般采用滚动或滑动轴承座,但由于轴较长,安装和检修均较困难。为解决该问题,设计进行了优化改进,在中间支撑的轴承座内采用“滚动轴承+短轴”的形式,轴承座两端各增设一套联轴器,然后再通过中间轴、联轴器与减速器连接。虽然这种同步轴支承形式需要增加联轴器数量,设备成本略有提高,但安装、维护方便,后期维护费用降低,安全可靠。该启闭机的同步轴中部设 2 个滚动轴承座,整个同步轴由 3 段中间轴和 2 段短轴共 5 段组成。

3.4 机架基础荷载计算

升卧式闸门启闭机无倍率,钢丝绳由卷筒斜平引出,再通过导向轮与闸门吊耳连接,启闭机承受较大的水平力。为防止启闭机整机水平滑移,需对启闭机的机架、卷筒、减速机等分别设置水平抗剪装置,并将机架上卷筒组、减速器、电动机、制动器、应急启动装置的支架以及导向滑轮支架均与启闭机机架焊接成一体框架,其中,导向滑轮支架底部通过地脚螺栓固定于地面。启闭机框架结构支承点多达 8 个,采用手工计算较为困难,且误差较大,为此将框架梁简化为杆件结构(如图 5 所示),采用专用结构力学计算软件进行计算,计算的各支点支承反力和水平力见表 1。表中竖向力向下为负,向上为正;水平力向左为负,向右为正。

表 1 机架基础荷载计算结果

Tab.1 Calculation results of the bracket base load

节 点	节点约束反力			合力		
	水平/N	垂直/N	力矩/(N·m)	大小/N	角度/(°)	力矩/(N·m)
3	-25 868.297 2	18 429.015 1	0.000 0	31 761.571 1	144.533 3	0.000 0
2	0.000 0	-6 535.332 1	0.000 0	6 535.332 1	-90.000 0	0.000 0
4	10 820.702 9	43 674.319 3	0.000 0	44 944.819 4	76.084 7	0.000 0
6	15 020.844 1	-28 029.799 1	0.000 0	31 800.871 0	-61.813 7	0.000 0

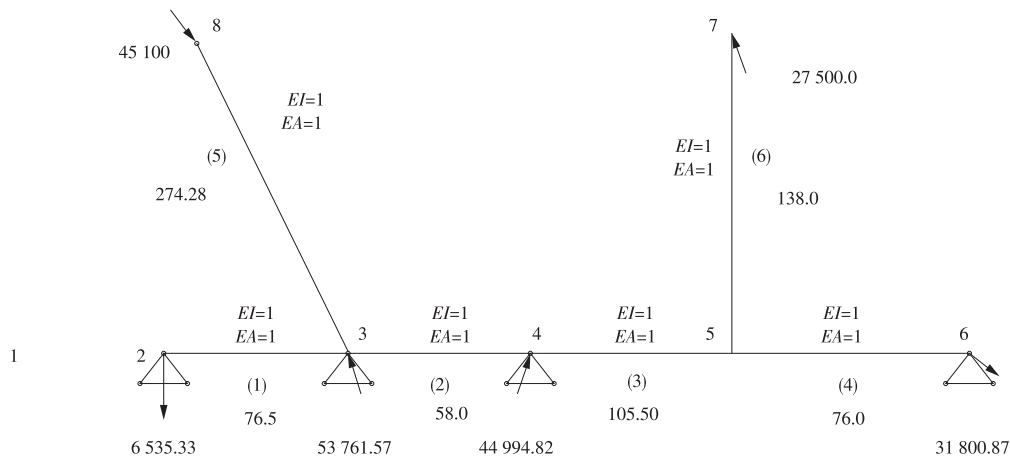


图 5 机架基础荷载计算

Fig. 5 Base load calculation for the bracket

4 结束语

鉴江高岭拦河闸重建工程升卧式工作闸门 $2 \times 250 \text{ kN}$ 固定卷扬式启闭机已投入运行,设备各方面运行情况良好,证明设计方案合理,启闭机本质安全可靠,可为今后同类型启闭机的设计布置提供有益借鉴。

参考文献:

- [1] 起重机设计规范:GB/T 3811—2008[S].
- [2] 成大先. 机械设计手册[M]. 6 版. 北京:化学工业出版社,2017.
- [3] 唐松智,赵中营,朱君学. 三门峡水利枢纽 $4\,500 \text{ kN}$ 斜拉双向门机设计[J]. 华电技术,2012,34(12):12–14.
- [4] 赵中营. 黄河大河家水电站工程——坝顶 $2\,000 \text{ kN}/630 \text{ kN}$ 双向门机设计[J]. 中国新技术新产品,2014(23):101–102.
- [5] 水利水电工程启闭机设计规范:SL41—2018[S]. 北京:中国水利水电出版社,2018.
- [6] 史田明,雷海,张小辉,等. 河口村水库工程坝顶 $2\,000 \text{ kN}$

- 门式启闭机设计[J]. 华电技术,2018,40(12):39–41.
- [7] 孙鲁安,唐松智. 小浪底水利工程进水塔 $4\,000 \text{ kN}$ 门机设计特点[J]. 人民黄河,1999,21(5):37–39.
- [8] 陈霞,李纪新,唐松智,等. 西霞院反调节水库工程坝顶门式启闭机设计[J]. 水利电力机械,2007,29(2):26–28,38.
- [9] 司建伟. 三峡地下电站进水塔坝顶双向门机的设计特点[J]. 华电技术,2010,32(2):22–25.
- [10] 司建伟. 进水塔门机 $650 \text{ kN}/100 \text{ kN}$ 回转吊起升方案的改进[J]. 华电技术,2009,31(12):29–31.

(本文责编:白银雷)

作者简介:

雷海(1970—),男,山东肥城人,工程师,从事工作水电站启闭机设计与检测等方面的工作(E-mail:1530745484@163.com)。

史田明(1973—),男,江苏常州人,工程师,从事水电站启闭机制造工作。

徐宜桢(1993—),女,河南浚县人,助理工程师,从事燃气输配研发工作。

(上接第 15 页)

- [15] 罗志,牛国平,王晓冰,等. 分区混合动态喷氨技术工程应用[J]. 热力发电,2018,47(8):125–131.
- [16] 孟文宇,魏绍青,王菁,等. 330 MW 燃煤发电机组 SCR 脱硝系统催化剂磨损原因分析[J]. 锅炉技术,2018,49(1):10–16, 21.
- [17] 董长青,马帅,傅玉,等. 火电厂 SCR 脱硝催化剂寿命预估研究[J]. 华北电力大学学报(自然科学版),2016,43(3):64–68.
- [18] 傅玉,陆强,唐诗洁,等. SCR 脱硝催化剂寿命管理研究[J]. 中国电力,2018,51(3):163–169.

(本文责编:刘芳)

作者简介:

胡小夫(1985—),女,山东乳山人,高级工程师,工学博

士,从事火电厂节能环保方面的工作(E-mail:huxf@chec.com.cn)。

汪洋(1980—),男,河北保定人,高级工程师,工学硕士,从事烟气余热利用及流场模拟方面的研究(E-mail:wangyang@chec.com.cn)。

王云(1973—),男,贵州兴义人,工程师,工学硕士,从事电厂热工自动化及数字化技术的研究(E-mail:wangyun@chec.com.cn)。

王凯亮(1975—),男,河南许昌人,高级工程师,工学硕士,从事大气污染物控制、燃煤电厂脱硫脱硝除尘技术研究和工程设计方面的工作(E-mail:wangkl@chec.com.cn)。

李伟(1971—),男,安徽全椒人,高级工程师,从事环保技术研究及工程管理方面的工作。

王桦(1977—),男,山东莱阳人,工程师,从事环保技术研究及工程管理方面的工作。

张南极(1986—),男,江苏盐城人,工程师,从事科研管理方面的工作(E-mail:zhangnj@chec.com.cn)。