

# 燃煤锅炉性能测试专用测点安装的规范化研究

李广伟

(中电华创电力技术研究有限公司, 上海 200086)

**摘要:**火力发电机组锅炉试验专用测点的规范安装对性能试验的精确度具有重要的影响。总结了近年来火力发电机组节能减排工作中锅炉性能测试的经验,论述了影响机组性能试验的烟气成分、灰渣样、温度、压力、流量等测点的安装规范以及提高测量精度的方法,使机组在性能试验中获得较高品质的数据,为机组的节能、环保工作奠定了坚实的基础。

**关键词:**燃煤锅炉;性能测试;测点;安装;规范

中图分类号:TK 229.6

文献标志码:B

文章编号:1674-1951(2017)04-0011-04

## 0 引言

近年来,随着我国节能减排力度的加大,各发电企业对发电机组性能检测和指标评估也越来越重视。现代大容量火电机组均采用了先进的测量装置,并通过先进、缜密、严谨的算法,获得了机组运行所需的数据<sup>[1]</sup>,但目前许多电厂的日常性能检测(包括大修前后性能试验)结果普遍存在可靠性低甚至错误的现象,不能保证良好的重复性和较高的精度。其原因就是对性能测试没有进行很好的规划(包括试验人员、试验单位、试验计划和试验方法),试验测点布置以及试验仪表安装使用不规范,使各试验结果间缺乏可比性,最终导致性能试验失去了应有的意义,变成了一种形式。

良好的重复性和高精度,除了通过可靠的仪表和正确的使用方法来保证外,还需要一个正确全面的测点安装方案,如测点的数量、测点位置的选择、合理使用高精度仪表等。合理的测点安装方案还能有效降低检测的费用和难度,进一步减少不确定因素的影响以及对专业人员经验的依赖,最大限度降低人为因素导致的测量不确定度<sup>[2]</sup>(实际上这种不确定度占了整个不确定组成的很大一部分),因此,机组日常检测时必须对测点问题进行规范。

## 1 烟气成分和物性试验测点的安装规范

### 1.1 省煤器出口测点布置方案

省煤器出口沿炉宽方向安装测点的作用如下:

(1)用于测量炉内氧量和一氧化碳分布情况,以便进行燃烧调整;(2)用于测量脱硝装置入口流场和 $\text{NO}_x$ 浓度场,以便分析锅炉运行变化对脱硝装置入口边界条件的影响;(3)用于脱硝系统性能考核,避

免稀释风对测量脱硝入口 $\text{NO}_x$ 质量浓度的影响。

试验测点具体位置如图1中测点位置1处所示,主要布置在省煤器出口至脱硝垂直烟道入口之间水平烟道上。安装时,测孔应远离喷氨口(4 m以上)且在喷氨口上游,建议尽量选择靠近省煤器的变径之前的直段烟道上。测点根据网格法原则布置,每侧至少安装8个测点,最外侧两点距离烟道边缘20~30 cm为宜。测孔外径90~100 mm,自由端须露出保温层100 mm。测孔材质建议使用不锈钢,炉侧所有烟气测孔均遵循上述原则。目前,该位置安装测点的电厂较少,因此很少设有平台,考虑到便捷维护等问题,建议安装测点的同时加装平台和护栏。

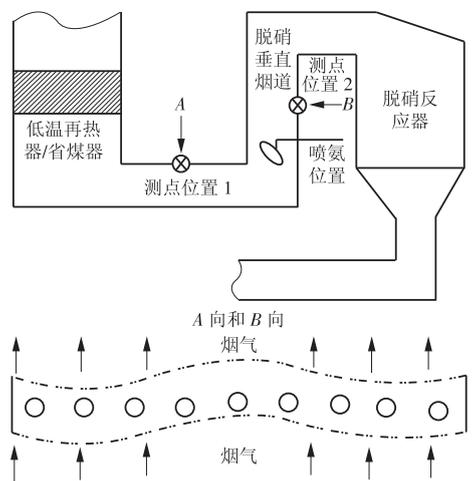


图1 省煤器出口测点布置方案

### 1.2 脱硝喷氨点后测点布置方案

喷氨点后沿反应器宽度方向布置测点,主要用于测量该位置烟气流速和 $\text{NO}_x$ 浓度分布,从而评价布置在弯道处的整流装置的整流效果及喷氨混合装置对 $\text{NO}_x/\text{NH}_3$ 的混合效果。

试验测点主要布置在喷氨以后的脱硝垂直烟道内,具体位置如图1中测点位置2处所示。安装前,首先确定该位置空间是否便于测量操作,特别要关

注平台是否便于试验人员操作,垂直烟道与脱硝反应器之间距离是否便于取样枪操作。安装时,测点位置依据网格法原则确定,每侧至少安装 8 个测点。

### 1.3 催化剂层间测点布置方案

各催化剂层间测点的作用:(1)用于测量各催化剂层间的流速分布,以便分析催化剂层磨损、积灰及氨逃逸情况;(2)用于测量各催化剂层进出口的  $\text{NO}_x$  浓度分布,以便分析催化剂层不同区域催化剂活性。

催化剂层间测点安装可以沿着反应器宽度方向,也可以沿着反应器深度方向,具体安装方向要视现场场地空间情况,以便于测量为原则进行选择。下面以沿深度方向布置为例说明测点具体安装位置,如图 2 所示。安装时,靠近反应器两侧的测孔尽量靠近反应器壁面,去除保温层后距壁面 20~30 cm 为宜,其余测孔均匀分布,间距 1.0~1.5 m 为宜。

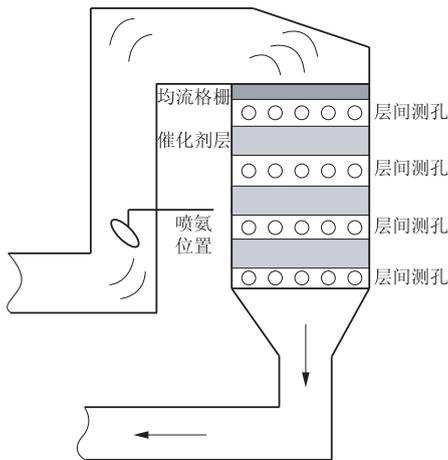


图 2 催化剂层间测点安装示意

### 1.4 脱硝出口(空气预热器入口)测点布置方案

脱硝出口测点的作用:(1)用于测量脱硝出口流场和  $\text{NO}_x$  浓度场,以便进行喷氨格栅的优化调整;(2)用于测量空气预热器(以下简称空预器)入口氧量和入口烟温分布情况(测量时,温度测点应与烟气取样点位置尽可能一致);(3)用于测量空预器入口静压、流量等。

试验测点主要布置在脱硝出口至空预器入口之间水平烟道上,如图 3 所示。安装时,测孔尽量靠近空预器,测点布置根据网格法原则设定,每侧至少安装 8 个测点。测孔外径 90~100 mm,自由端露出保温层 100 mm。

### 1.5 空预器出口测点布置方案

空预器出口测点的作用:(1)用于测量空预器出口氧量分布情况,结合空预器入口氧量数据,了解空预器的漏风情况(测量时,应同时用同种类型的分析仪测量相应段烟道的进、出口烟气成分并进行

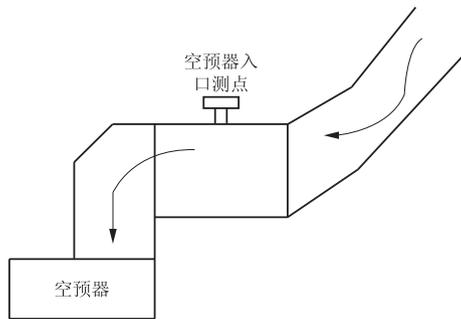


图 3 脱硝出口测点安装示意

计算);(2)用于测量排烟温度分布情况;(3)用于测量空预器出口静压、流量等。

如图 4 所示,在空预器出口位置 1 处,由于空预器漏风、烟气分层、烟气温度场不稳定等原因<sup>[3]</sup>,测点必须在空预器烟道第 1 个弯头后面。位置 2,3 在转弯烟道后,流速分布不均匀,氧量分布也不均匀,为了保证测试的准确性,需要增加取样点的数量,将流速和烟气成分一并进行测量,采用流速加权平均值。因此在保证烟道无漏风和测量空间足够的前提下,建议试验测点安装在距离空预器出口较远的水平烟道上,尽量在靠近除尘器入口的变径之前的直段上,即位置 4。测点布置根据网格法原则设定,每侧至少安装 8 个测点。测孔外径 90~100 mm,自由端露出保温层 100 mm。

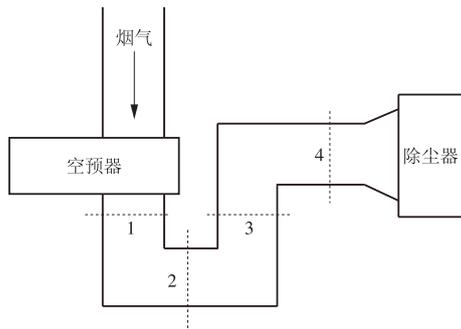


图 4 空预器出口测点安装示意

## 2 煤、灰、渣取样测点的安装规范

煤的检验误差由采样、制样和化验 3 部分组成,其中采样误差最大,约占总误差的 80%,因此正确的采样是电厂燃料分析中的一个重要环节,也是获得可靠分析结果的必要前提<sup>[4]</sup>。

推荐在原煤仓出口或给煤机入口处进行采样,大部分电厂的原煤取样测孔都设置在原煤仓锥体下部至给煤机的落煤管上,个别电厂在原煤仓上设有专用原煤取样孔。对于没有设置原煤取样测孔的电厂,为满足试验的要求,可以考虑将给煤机上盖检查口作为临时的原煤取样孔,但是取样过程中由于落煤管内压力较大,原煤流出时呈喷射状,不仅会造成

环境污染和浪费,而且细小的原煤颗粒因速度较快,容易对试验人员造成冲击,危害健康,建议电厂加装专用的原煤取样测孔。

原煤取样前,务必将取样孔中的积煤清理干净,以取得流动的原煤作为取样的标准。原煤采样有效时间应与锅炉试验工况时间相等,但采样开始和结束的时间应视燃料从采样点至送入炉膛所需的时间而适当提前。建议直吹式制粉系统第1次取样在正式试验开始前0.5 h,中储式制粉系统提前2.0 h取样。整个采样期间应均隔时间采取样品,建议每台磨煤机每30 min采样1次,每次采样约2 kg,置于密封容器内。为了提高采样效率,当煤质比较稳定时,可适当降低采样频率;当不同煤仓的煤质比较单一时,可适当减少磨煤机采样台数。一次试验结束后,根据磨煤机的出力将全部采样按不同比例加权混样,充分混合后缩分为3份,每份2 kg,其中1份供试验单位进行工业分析、发热量测定,并委托有资质单位(至少要有省级中国计量认证(CMA)资质)进行煤质化验,1份供电厂进行工业分析和发热量测定,1份留试验单位备用。

目前,电厂普遍采用的飞灰取样器安装在空预器出口到电除尘入口的烟道,采用撞击式取灰方式。由于在灰粒粒度范围内灰中含碳量的分布不均匀,导致飞灰可燃物含量变化较大。因此,建议在电除尘第1电场下方的放灰口取灰,取灰前必须将取样管中的陈灰排空,每次取灰量建议不小于2 kg。为提高飞灰可燃物测量的准确性,试验期间须在空气预热器出口测点利用飞灰等速取样装置取样,可以利用等速取样标定后的撞击取样代替等速取样。

锅炉大渣的主要成分是水冷壁结焦后脱落的焦块、喷燃器分离出来的未燃尽煤粉颗粒和燃烧后落入冷灰斗的较大灰粒等。由于炉膛渣池很大且灰渣分布极不均匀,为了获得有代表性的样品,需要大量取样,每次取样量一般不应少于2 kg,并要求对每个样品进行多次分析。

### 3 制粉系统取样测点的安装规范

针对中间储仓式制粉系统,一般可在细粉分离器下粉管道上用旋转式活动取样管采样。

针对直吹式制粉系统,多数电厂现有煤粉取样装置均为伸缩式固定煤粉取样器,存在经常取不到样、取样精度差等情况。根据DL/T 467—2004《电站磨煤机及制粉系统性能试验》要求,煤粉取样需采用圆周等截面多点采样方式。

AKOMA2000是由德国e. on工程公司开发的燃煤电厂煤粉等速取样装置,采用圆周等截面64点等

速采样方式,能满足制粉系统常规性能试验和优化调整试验的要求,能检测煤粉细度、一次风速度、煤粉浓度和均匀性,试验结果更精确。因此建议符合条件的电厂在各粉管上加装AKOMA专用取样密封件,该专用密封件设计有压缩空气密封风接口,可以有效解决制粉系统优化试验时煤粉正压喷溅的问题。

煤粉取样测点的安装位置应远离弯头、可调缩孔等干扰流场均匀性的设备(直管段要求前面长度为5倍当量直径,后面长度为3倍当量直径),且需要有一定的仪器操作空间;此外,该煤粉取样测点还可作为冷热态一次风调平和标定试验测点使用。

### 4 风机试验测点的安装规范

风机设置流体流量试验测点时,应关注联络母管,避免联络母管对流量的影响。风机流量测点尽量安装在风机入口,处于负压环境,方便测量;当送风机和一次风机入口无法安装测点、只能安装在出口风道时,测量时务必注意安全。

设置风机静压测点时通常在烟、风道壁面上直接开孔,建议尽可能在内表面平整的壁面上垂直开孔,孔径宜为2~3 mm,孔边缘不应有毛刺和倒角,还应采取适当措施严防测压孔堵塞。风机进出口静压测点不能远离风机进出口截面,应尽量安在风机进出口膨胀节前后,烟(风)道直段上,附近不应存在挡板、弯头等阻力部件及涡流区。在风机进出口截面上至少安装3个测点(方形或矩形截面至少4个点),分别测量后求平均值。

### 5 给水流量试验测点的安装规范

给水流量是确定机组一些重要性能指标的主要参数,给水流量的准确测量对常规火电机组的性能检测具有重要的意义。较之于采用凝结水流量作为性能监测的基准流量而言,直接测量进入省煤器的给水流量,可以避免加热器管子可能发生的泄漏、给水泵密封水的泄漏、除氧器水位的变化对给水流量的影响。提高给水流量的测量精度,可在极大降低机组性能试验难度、减少高精度仪表使用数量的前提下,提高机组性能试验的精度和重复性。

受煤量计量方法的限制,电厂入炉煤量的统计一般误差较大,不利于节能管理。如果以给水流量为基准计算锅炉吸热量并对该吸热量进行累计,可将每日或每月的吸热量累计值换算为标煤量,该量的精度将远高于对煤量的直接计量。

现阶段国内能够精确测量给水流量的装置为低 $\beta$ 值喉部取压喷嘴给水流量测量装置,因此,建议在省煤器入口安装美国机械工程师学会(ASME)推荐

的低  $\beta$  值喉部取压喷嘴,其结构如图 5 所示。由于该喷嘴安装于省煤器入口的给水管道上,压力较高,因此必须采用焊接结构,这为喷嘴的定期校验带来了困难,为此 ASME 建议在喷嘴下游开一个观察孔,以便对喷嘴进行定期检查。

### 6 水冷壁壁面氛围测点的安装规范

随着环保部门对  $\text{NO}_x$  排放要求的提高以及锅炉优化运行的需要,锅炉燃烧趋向更低的氧量水平,锅炉因还原性气氛导致的结渣和高温腐蚀问题将日益显著<sup>[5]</sup>,因此,锅炉贴壁还原性气氛的测量将成为锅炉燃烧调整的一个重要手段。

测量炉膛贴壁还原性气氛的方法是在水冷壁四周按要求布置一定数量的小孔,一般在膜式水冷壁管之间的鳍片上开孔,取样孔径可根据相邻水冷壁管之间的距离进行调整。水冷壁四周烟气气氛测点的布置位置和数量可根据锅炉的实际结构和尺寸进

行选择,图 6 给出了比较典型的某 660 MW 超临界锅炉的近壁气氛测点布置情况。

(1)前后墙上第 1 层燃烧器标高为 20.36 m,第 2 层燃烧器标高为 24.89 m,第 3 层燃烧器标高为 29.42 m,燃尽风层标高为 35.40 m。

(2)测点分 4 层分别对称布置于锅炉左右两侧墙。第 1 层测点标高为 21 ~ 22 m (处于第 1 层和第 2 层燃烧器标高之间);第 2 层测点标高为 27 ~ 28 m (处于第 2 层和第 3 层燃烧器标高之间);第 3 层测点标高为 31 ~ 33 m (处于第 3 层燃烧器与侧燃尽风标高之间);第 4 层测点标高为 38 ~ 39 m (处于燃尽风上部)。

(3)每层布置 5 个测点。侧墙中心位置布置 1 个,中心点左右对称各布置 2 个,对称距离为 3 m。

(4)在水冷壁鳍片上打孔得到测孔,测孔直径为 4 ~ 5 mm;采用不锈钢管(管径 6 mm 左右)连接至保温层外部,测量自由端伸出保温层外部 100 mm。

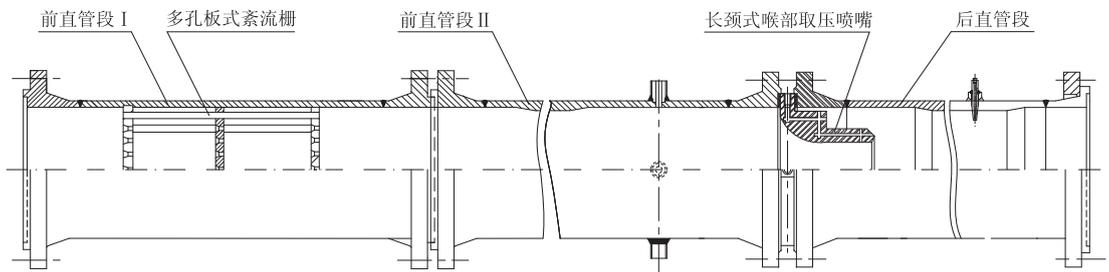


图 5 焊接式给水流量喷嘴结构示意图

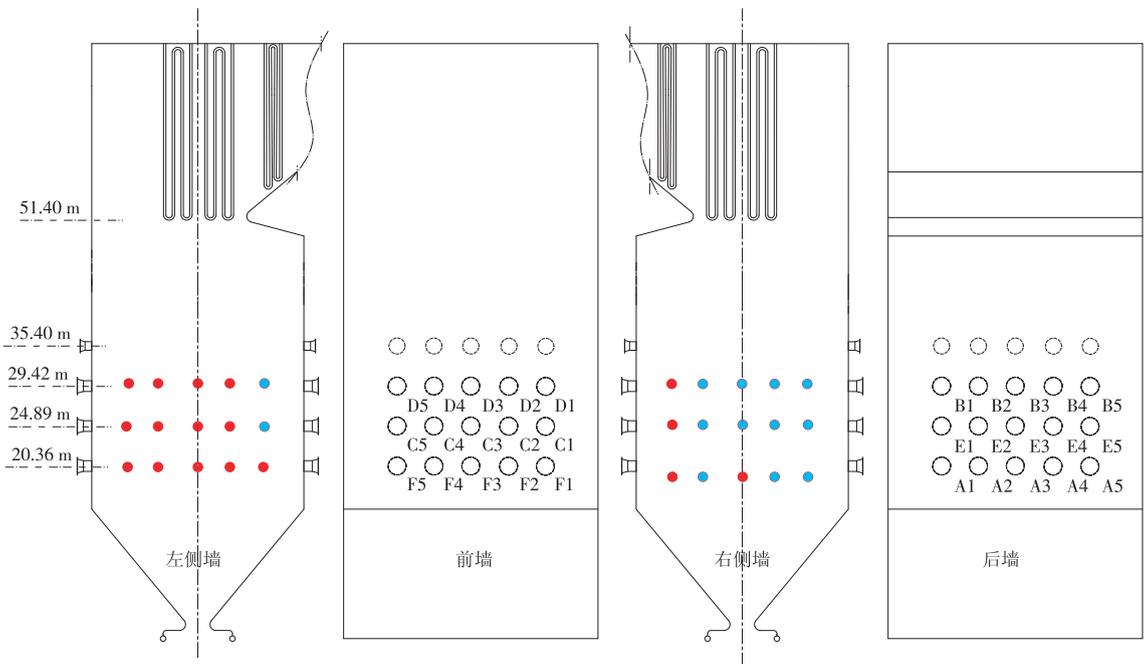


图 6 锅炉侧墙水冷壁壁面氛围测点位置示意

### 7 结束语

对机组锅炉侧重要测点进行规范安装,能够提

高锅炉主要运行参数的精度,使发电企业更为准确地掌握锅炉的运行状况,为锅炉的运行、检修、技改等提供了重要的实时数据,为提升(下转第 18 页)

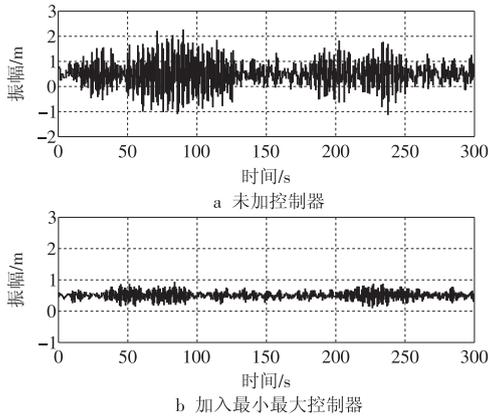


图 2 控制效果

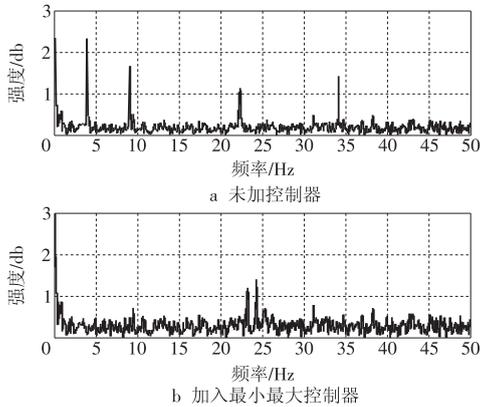


图 3 摆振位移频谱

峰值都被很好地抑制,所以,控制器在针对叶片的低频振动部分有很好的控制效果,而低频部分正是叶片摆振的主要影响因素。可以看出,本文的控制器对叶片摆振有很好的控制效果。

### 4 结论

我国风电装机容量逐年加大,对风电机组的运行维护提出了更高的要求。风机叶片系统故障在风机所有故障情况占 13.4%,是一种占比较大的故障类型。本文针对风机叶片振动进行控制,进而降低风机故障率,达到提高风机发电效率的目的。

仿真试验表明,对叶片施加控制后,叶片振动幅度有了大幅度的降低,低频振动也得到了有效的控制。通过这种方法可以减少由于风机叶片振动引发

(上接第 14 页)发电企业节能环保工作质量奠定了基础。

### 参考文献:

[1] 向丽晖. 燃煤锅炉性能监测元件选型及安装的规范化研究[J]. 锅炉技术, 2014, 45(5): 29-31, 57.  
 [2] 锅炉性能试验规程: ASME PTC 4—2008[S].  
 [3] 李悦, 杨月明, 刘振军, 等. 1.025 t/h 锅炉在线氧量测点位置分析与改进[J]. 华北电力技术, 2003(2): 37-38, 41.

的风机故障,预计降低风机故障率 5%,提高风电机组发电效率。

### 参考文献:

[1] 孙鲜明. 复杂工况下风力发电机组关键部件故障分析与诊断研究[D]. 沈阳:沈阳工业大学, 2014.  
 [2] RICE J K, VERHAEGEN M. Robust and distributed control of a smart blade[J]. Wind energy, 2010, 13(2): 103-116.  
 [3] STAINO A, BASU B, NIELSEN S R K. Actuator control of edgewise vibrations in wind turbine blades[J]. Journal of sound and vibration, 2012, 331(6): 1233-1256.  
 [4] SVENDSEN M N, KRENK S, HOGSBERG J. Resonant vibration control of rotating beams[J]. Journal of sound and vibration, 2011, 330(9): 1877-1890.  
 [5] GAWRONSKI W K. Advanced structural dynamics and active control of structures[M]. New York: Springer, 2004.  
 [6] HANSEN M H. Improved modal dynamics of wind turbines to avoid stall-induced vibrations[J]. Wind energy, 2003, 6(2), 179-195.  
 [7] JONKMAN J, BUTTERFIELD S, MUSIAL W, et al. Definition of a 5 MW reference wind turbine for offshore system development[R]. Colorado: National Renewable Energy Laboratory, Technical Report, 2009, NREL/TP-500-38060.  
 [8] BUHL M. A simple mode-shape generator for both towers and rotating blades. [CP]. (2014-09-28) [2017-03-31]. <https://nwtc.nrel.gov/Modes>.  
 [9] DOYLE J C, FRANCIS B A, TANNENBAUM A R. Feedback control theory[M]. New York: Macmillan, 1992.  
 [10] ZHANG Yuhong, AGRAWAL S K, POTA H R, et al. Minimax linear quadratic gaussian control of longitudinal vibration for cable transporter systems with multiplicative nonparametric uncertainties[J]. International journal of acoustics and vibration, 2005, 10(3): 137-143.

(本文责编:白银雷)

### 作者简介:

詹鹏(1991—),男,江西九江人,工程师,从事风电机组振动诊断及故障分析方面的研究工作(E-mail: zhanp@chec.com.cn)。

[4] 于文涛, 范志斌, 武玉霞, 等. 浅谈提高入厂煤人工采样精密度的方案及改进[J]. 应用能源技术, 2012(3): 5-7.  
 [5] 赵虹, 魏勇. 燃煤锅炉水冷壁烟侧高温腐蚀的机理及影响因素[J]. 动力工程, 2002, 22(2): 1700-1704.

(本文责编:刘芳)

### 作者简介:

李广伟(1983—),男,河北衡水人,高级工程师,工学硕士,从事机组性能测试、系统优化及电站调试技术研究(E-mail: 82564060@qq.com)。