

用富氧燃烧技术减少水泥生产过程 NO_x 排放的可行性分析

李 辉^{1,2}, 范 潇¹, 丁松雄¹, 段永华¹, 郑伍魁¹

(1. 西安建筑科技大学材料与矿资学院, 陕西 西安 710055; 2. 陕西循环经济工程技术院, 陕西 西安 710055)

摘要: 近年来我国水泥产量逐年增高, 水泥生产过程中的 NO_x 排放量也越来越大, 因此, 控制水泥行业 NO_x 的排放压力巨大. 详细介绍了富氧燃烧技术应用于水泥行业进行脱硝的机理、研究现状及存在问题, 并对富氧燃烧技术应用于水泥行业进行脱硝的可行性进行分析, 得出此技术对于减少水泥行业中的 NO_x 排放具有很大潜力.

关键字: 富氧燃烧; 水泥; NO_x

中图分类号: U445.7⁺2

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2014)02-0292-04

随着我国经济的快速发展和工业化进程的加快, 人们对水泥的需求量也迅速增加, 我国已连续20多年为世界第一水泥生产大国. 国家统计局数据资料显示, 2012年我国水泥产量达21.84亿吨, 占全球水泥总产量的56%. 为满足原料中碳酸盐分解和熟料矿物烧成的需要, 在水泥熟料的生产过程中, 需要消耗大量的燃料, 在燃料燃烧过程中会形成并排放大量的NO_x. 而NO_x具有一定的毒性, 是雾霾天气的主要气态污染物, 可刺激人体的呼吸系统, 对人体健康造成严重危害, 另外氮氧化物也是形成光化学烟雾和酸雨的重要原因. 据统计, 目前中国水泥工业年排放氮氧化物220万吨以上, 已成为仅次于火电之后的第二大NO_x排放源^[1]. 从2013年7月1日起开始执行的《水泥工业大气污染物排放标准》将现有生产线的NO_x排放限值从800 mg/Nm³降至480 mg/Nm³, 对新建生产线的排放限值则降至320 mg/Nm³. 水泥工业的NO_x治污减排已刻不容缓.

为了降低排放烟气中NO_x的含量, 目前我国水泥企业大多采用低NO_x燃烧器^[2]、分级燃烧^[2]、优化窑和分解炉的燃烧制度^[2]、使用替代燃煤的可替代燃料等低氮燃烧技术^[2], 这些方式实施相对较简单, 投资、运行费用较低, 是经济代价小、有效的技术措施. 但是, 目前低氮燃烧技术只能削减NO_x约40%左右^[3], NO_x的排放浓度很难达到《水泥工业大气污染物排放标准》要求. 因此, 必须结合烟气脱硝技术进一步降低NO_x排放量. 依据反应的温度不同及是否需要催化剂, 烟气脱硝技术主要包括选择性催化还原法(SCR)、选择性非催化还原法(SNCR)及综合法(SNCR-SCR)^[3]. 选择性催化还原法(SCR)烟气脱硝技术, 是通过还原剂(例如NH₃), 在适当的温度, 并有催化剂存在的条件下把NO_x转化为N₂和H₂O, 脱硝效率可达70%-90%或以上^[25]. 该技术自20世纪80年代初开始逐渐应用于燃煤锅炉烟气脱硝, 至今在发达国家已被广泛用于各类型的火电厂锅炉烟气的净化处理, 被公认为烟气脱硝的主流技术. 选择性非催化还原法(SNCR)脱硝技术是把炉膛作为反应器, 将NH₃或氨基还原剂直接喷入炉膛温度900~1100℃的区域, 后者迅速热分解成NH₃, NH₃与烟气中的NO_x反应生成N₂. 该方法不用催化剂, 反应温度较高, 脱硝效率较低, 一般不超过60%, 且还原剂消耗量较大^[25]. SNCR法和SCR法脱硝效果明显, 但因操作复杂、不稳定、投资大和易产生二次污染等缺点, 国内只有少数水泥企业开始SNCR法的尝试^[2].

本文根据当前我国NO_x排放的研究状况, 对新发展起来的富氧燃烧技术抑制NO_x产生进行了系统的研究, 借鉴在煤电行业的技术研究和应用经验, 详细分析了将富氧燃烧技术应用于水泥工业进行脱硝的可能性.

1 富氧燃烧-新型低碳燃烧技术

富氧燃烧技术是基于控制电厂燃煤锅炉中CO₂的排放, 由Horne和Steinburg于1981年提出^[4], 也称O₂/CO₂燃烧技术、空气分离/烟气再循环技术, 该技术是用从空气中分离的O₂与再循环的烟气混合作为煤粉燃烧的

收稿日期: 2013-11-20

修改稿日期: 2014-04-08

基金项目: 教育部高等学校博士学科点专项科研基金-博导类项目(20116120110013); 陕西省重大科技创新项目(2012zk06-2)

作者简介: 李辉(1971-), 女, 博士, 教授. 主要从事固体废弃物资源化利用、CO₂减排及控制方面的研究. E-mail: sunshineli@vip.sina.com

氧化剂,使燃烧尾气中的CO₂浓度达到70%以上,经脱水后可以达到95%^[4],然后把富集后的CO₂直接进行液化分离,进而回收利用的一种简单且经济的CO₂捕集利用方法.其原理示意图如图1所示。

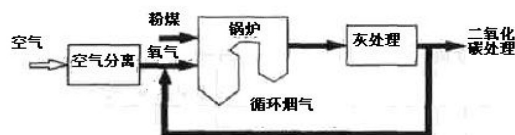


图1 富氧燃烧原理示意图^[5]

Fig.1 Schematic oxy-fuel

1.1 富氧燃烧技术的脱硝作用机理

在常规煤粉燃烧过程中生成的NO_x有三种：

(1) 热力型NO_x. 它是由助燃空气中的氮气在高温下氧化而生成的. 热力NO_x的生成量与燃烧温度T有直接关系,当燃烧温度T低于1300℃^[6]时, NO_x的生成量很少,而当燃烧温度T高于1300℃时, T每增加100℃, 反应速率增大6-7倍. 在温度足够高时, 热力NO_x的生成量可占到NO_x总量的30%.

(2) 快速型NO_x. 当燃料过浓燃烧时, 燃料挥发物中的碳氢化合物会在高温下分解生成CH自由基, CH自由基与空气中氮气反应生成HCN和N, 再进一步与氧气作用以极快的速度生成快速型NO_x. 快速型NO_x在燃烧过程中的生成量很小.

(3) 燃料型NO_x. 它是燃料中含有的氮化合物在燃烧过程中分解氧化而生成的, 燃料型NO_x在煤粉燃烧所生成的NO_x产物中占60%-80%. 因为煤燃烧过程是由挥发份燃烧和焦炭燃烧两个阶段组成, 所以燃料型NO_x的形成也由挥发分中氮的氧化和焦炭中剩余氮的氧化两部分组成, 其中挥发份中氮氧化形成的NO_x占燃料型NO_x的大部分.

富氧燃烧技术不仅可以大量回收烟气中的 CO₂, 而且可以减排烟气中的 NO_x: 首先, 在 O₂/CO₂ 气氛条件下燃烧, 助燃风中 N₂ 的含量几乎为零, 所以无热力型 NO_x、快速型 NO_x 生成; 其次在 O₂/CO₂ 气氛条件下, CO₂ 会与煤焦反应产生大量还原性气体 CO, 使得烟气中 NO_x 被大量还原; 最后在烟气循环条件下, 烟气中 NO_x 在系统内的停留时间延长, 增加了 NO_x 被还原的反应时间, 使得 NO_x 含量进一步降低. 半工业化实验证明, 在不采用任何其它措施时, 若采用富氧燃烧/烟气循环技术, 其脱硝效率可达 70%, NO_x 排放仅为常规燃烧方式的 1/3~1/4^[7].

1.2 富氧燃烧技术应用于水泥行业的技术优势

富氧燃烧可以缩短燃料的燃烧时间 (如助燃风中的氧气浓度提高到25%时, 煤粉的燃烧时间可缩短16%左右^[8]), 提高煤粉的燃尽率. 可减少烟气排放量, 降低排烟热损失, 相应提高热效率, 降低燃料消耗量, 具有明显的节能环保效益^[9]. 且在高CO₂浓度下, CaCO₃分解温度推后, CaCO₃不发生煅烧而直接与SO₂和O₂发生硫化反应, 使产物层形成多孔结构, 促进反应扩散的进行, 提高了脱硫效率^[24]; 实施烟气循环, 系统出口的大量SO₂随烟气再循环重新进入系统, 提高了与脱硫剂的接触时间和脱硫剂利用效率, 从而提高脱硫效率^[23]. 若能成功在水泥行业采用此项技术, 不仅有利于水泥生产、回收高浓度的CO₂, 而且可以降低烟气中NO_x量和SO₂量, 是未来一种应用前景十分广阔的清洁技术.

2 用富氧燃烧技术减少水泥生产过程 NO_x 排放亟需解决的问题

水泥行业排出的氮氧化物主要由煤粉燃烧所产生. 在煤燃烧产生的NO_x中NO占 90 %以上, NO₂占 5%~10%^[10]. 在传统的干法水泥熟料生产工艺中, 回转窑窑头的火焰温度高达1 500℃以上, 除了生成燃料型NO_x外, 大量助燃空气中的氮会在高温下被氧化生成热力型NO_x, 因此在水泥回转窑中也生成热力型NO_x, 且热力型NO_x的比例很大^[11]. 在分解炉和窑尾上升管道区域, 燃料燃烧温度约为950~1200℃, 在此温度范围内, 主要生成燃料型NO_x^[12]. 基于不同NO_x的生成机理, 可以断定在富氧燃烧条件下, 水泥回转窑、分解炉中的NO_x产生量较之用空气助燃条件会有所降低. 然而目前富氧燃烧技术在我国主要应用于钢铁、陶瓷、玻璃等工业中^[13], 在水泥工业还没有成功的工业化示范案例. 若要用富氧燃烧技术来减少水泥生产过程中的NO_x排放, 笔者认为还有以下几个方面的问题有待深入研究.

2.1 需研究的科学问题

2.1.1 水泥生料对煤粉燃烧生成 NO 过程的影响机理

与热电厂燃煤锅炉中单纯的煤粉燃烧不同的是, 在水泥生产过程中, 分解炉内需通过煤粉燃烧来提供原料预热和分解所需的热源, 此外同时发生煤粉燃烧和石灰石分解两种反应, 有学者研究表明^[14], 水泥生料对煤粉燃烧生成 NO 的反应具有一定的催化作用, 生料配料中石灰石对 NO 转化反应的催化作用最强. Jensen^[15]对各种不同实验条件下的相关结果进行了分析, 认为石灰石的催化作用与煤的挥发分含量关

系密切,对于挥发分含量较高的煤,添加石灰石后其燃烧产物中NO的产量增加;而对于挥发分含量较低的煤粉或煤焦,石灰石对其燃烧过程中焦炭还原NO的催化作用更强烈,导致燃烧过程中NO排放量降低.国内的华中科技大学煤燃烧国家重点实验室与天津水泥设计研究院有限公司对分解炉内水泥生料及其分解产物作用下的煤燃烧过程中NO生成和还原过程的影响进行了一系列实验研究^[16],结果显示在氧化性气氛下生料能够加速煤焦燃烧过程中NO的生成,即生料对NO的生成反应具有一定的催化作用;在还原性气氛下,水泥生料能够加速煤焦对NO的还原,且对于不同的煤焦,生料对其还原反应的催化作用有一定的差异.张东平等^[17]认为在煤粉析出挥发分的过程中, CaO的存在可促使HCN转化为NH、NH₂和NH₃,在流化床燃烧条件下, NH₃在氧化过程中更倾向于生成NO,而HCN更倾向于生成N₂O,因而添加钙基催化剂后NO的生成速率及生成总量均增加.而富氧燃烧技术可使系统烟气中的CO₂富集, CO₂浓度增加,则会使得石灰石的催化作用钝化, Dam-Johansen^[18]在固定床上考察了CO₂浓度对CO还原NO的影响,他们发现当反应器入口不含CO₂气体时,在石灰石的催化作用下CO-NO的反应速率很大,而且反应速率主要取决于CO的浓度.增加CO₂浓度, CO与NO反应的速率会逐渐降低,即石灰石的催化活性会逐渐降低,直至一个最低值.降低入口气体中的CO₂浓度,石灰石的催化活性会有所增加,当全部去除CO₂,催化活性将会立即恢复到初始值.上述说明水泥分解炉中的生料分解对煤粉燃烧NO_x生成的催化作用和机理、分解炉内高CO₂浓度条件下煤粉燃烧过程中NO的生成和还原特点、高CO₂浓度下水泥生料对NO生成和还原反应的催化作用机制等方面的研究还不多,还需进行进一步基础性研究工作.

2.1.2 循环型NO_x对总体NO_x量的影响机理

在富氧燃烧条件下,系统中的NO_x由两部分组成,一部分是燃料燃烧生成的燃料型NO_x,另一部分是烟气循环带入的前期生成的NO_x,简称循环型NO_x.由于烟气再循环的累积效应以及烟气流量的减小,烟气中NO_x的浓度大幅增加,但煤粉中燃料氮的转化率要比未加烟气循环条件下的低,张利琴^[19]在一维沉降炉上的实验结果显示:烟气再循环工况下煤粉中燃料氮的转化率比空气工况低20.8%.循环型NO_x对总体NO_x排放有很大影响, Croiset等^[20]在0.21MW实验炉上对比研究常规空气燃烧、O₂/CO₂燃烧和真实循环烟气燃烧条件下污染物释放特性,发现再循环之后NO排放量相比于O₂/CO₂燃烧要降低40-50%. Okazaki^[21]认为O₂/CO₂气氛较空气气氛下NO_x排放减少,主要原因有三:一是O₂/CO₂气氛下高浓度的CO₂会与煤或煤焦发生还原反应生成大量的CO,在煤焦表面发生NO/CO/Char的反应,促进了NO的降解,这一作用对NO_x影响比重小于10%;二是NO_x再循环经过火焰区又被挥发分析出的还原组分分解掉了,所占比重为10%~50%;三是循环NO_x和燃料氮相互作用进一步减少了NO_x的生成,所占比重为50%~80%.上述说明众多的研究者很少对循环型NO_x的进一步还原机理、有水泥生料参与的循环型NO_x还原机理进行深入的研究.因此,若要在水泥工业应用富氧燃烧技术减少烟气中的NO_x,还需要进行大量的基础研究工作.

2.2 需解决的工艺技术问题

富氧燃烧技术应用于水泥窑,虽然可以提高煤粉燃尽率、提高传热速率,有利于水泥生产,达到节能减排的效果,但富氧气体的引入不可避免地会改变水泥的原有工况条件,因而在操作制度及设备方面必须作相应的调整,以满足回转窑生产中所要求的火焰及温度场要求^[8].

水泥企业若采用富氧燃烧技术,必然需要制备大量的氧气,一般可采用深冷法或VPSA法制取高纯度的氧气,但是制氧成本相对较高^[22],因此需开发低成本的大型制氧工艺路线.

3 结语

随着科技的不断发展和人们对环保,节能的日益重视,富氧燃烧技术在工业生产中必将起到越来越重要的作用.富氧燃烧技术在节约能源的同时,极大的减少了烟气和污染物的排放,做到低碳、低NO_x气体排放.随着富氧燃烧技术的不断发展与理论的逐步完善,制氧成本的不断降低,其必然成为工业企业节能、降耗、减排的重要手段,此技术对于减少水泥行业的NO_x排放具有很大潜力.

参考文献 References

- [1] 田春秀, 汪澜, 张玉璇. 水泥行业氮氧化物减排目标能否实现[J]. 环境保护, 2012(5):49-51.
TIAN Chunxiu, WANG Lan, ZHANG Yuxuan, The cement industry can achieve NO_x emission reduction targets[J]. Environmental Protection, 2012(5):49-51.
- [2] 毛志伟, 杨如顺, 甘昊. 水泥窑脱硝工艺技术的探讨[J]. 中国水泥, 2012(5):56-59.

- MAO Zhiwei, YANG Ru-shun, GAN Hao. Discussion the technology of denitrification process in cement kiln[J]. China Cement, 2012(5):56-59.
- [3] 曾佳敏, 邓燕琳. 水泥行业脱硝工艺技术的探讨[J]. 广东化工. 2012(8):126-130.
ZENG Jiamin, DENG Yanlin. Discussion on the Technical of Total Nitrogen Removal in Cement Industry[J]. Guangdong Chemicals. 2012(8):126-130.
- [4] 毛玉如, 方梦翔, 王树荣. 空气分离/烟气再循环技术研究进展[J]. 锅炉技术. 2002, 33(3):5-9.
MAO Yuru, FANG Mengxiang, WANG Shurong. Progress in air separation / flue gas recirculation technology[J]. Boiler Technology. 2002, 33(3):5-9.
- [5] 张清, 陈继辉, 卢啸风, 等. 流化床富氧燃烧技术的研究进展[J]. 电站系统工程. 2007, 23(2):4-7.
ZHANG Qing, CHEN Jihui, LU Xiaofeng, et al. The Evolve of Research on CFB Oxygen-enriched Combustion Technology[J]. Power System Engineering. 2007, 23(2):4-7.
- [6] 沈永庆. 低NO_x燃烧技术的研究[J]. 云南电力技术. 2006, (6): 30-32.
SHEN Yong-qing. Research of Low NO_x combustion technology [J]. Yunnan Electric Power. 2006, (6): 30-32.
- [7] 李庆钊, 赵长遂. 空气分离/烟气再循环技术基础研究进展[J]. 热能动力工程. 2007, 22(3): 231-236.
LI Qingzhao, ZHAO Changsui. The base of progress in air separation / flue gas recirculation technology[J]. Journal of Engineering For Thermal Energy and Power, 2007, 22(3): 231-236.
- [8] 丁强, 郭福忠, 王文青. 富氧燃烧在水泥回转窑生产上的应用理论[J]. 科技信息. 2010(16):355.
DING Qiang, GUO Fuzhong, WANG Wen-qing. The application of the Oxy-fuel theory in production of cement rotary kiln[J]. Science and Technology Information. 2010(16):355.
- [9] 刘彬, 熊小辉. 富氧燃烧技术的研究与探讨[J]. 有色冶金设计与研究. 2013, 34(1):21-23.
LIU Bin, XIONG Xiao-hui. Research and Discussion on Technology of Oxygen Enriched Combustion[J]. Nonferrous Metallurgy Design and Research. 2013, 34(1):21-23.
- [10] 崔素萍, 叶文娟, 兰明章, 等. 水泥窑炉NO_x形成机理及处理技术[J]. 中国水泥. 2010(5):55-59.
CUI Suping, YE Wenjuan, LAN Mingzhang, et al. Process technology of NO_x formation mechanism in cement kiln[J]. China Cement, 2010(5):55-59.
- [11] 任合斌, 陆继东, 胡芝娟, 等. 水泥回转窑内NO生成及其分布规律研究[J]. 工程热物理学报(增刊), 2006, 27(S2): 159-162.
REN Hebin, LU Jidong, HU Zhijuan, et al. Study of formation and distribution in cement rotary kiln[J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2006, 27(S2): 159-162.
- [12] 嵇鹰, 田耀鹏, 徐德龙. 水泥工业NO_x排放控制探讨[J]. 西安建筑科技大学学报:自然科学版. 2009, 41(3):397-403.
JI Ying, TIAN Yaopeng, XU Delong. Control of NO_x emissions in the cement industry[J]. Xi'an Univ. of Arch. & Tech.: Natural Science Edition. 2009, 41(3):397-403.
- [13] 罗国民, 温志红. 富氧燃烧技术应用中几个关键问题的探讨[J]. 工业炉. 2011, 33(6):15-17.
LUO Guomin, WEN Zhihong. Analysis of key technical of oxygen enriched combustion[J]. Industrial Furnace. 2011, 33(6):15-17.
- [14] 吕刚. 水泥分解炉内NO生成和还原机理的实验及模拟研究[D]. 武汉: 华中科技大学. 2011.
LÜ Gang. Experimental and Modeling Study of NO Formation and Reduction for Precalciner[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology. 2011.
- [15] Jensen A, Johnsson J E, Dam-Johansen K. Nitrogen Chemistry in FBC With Limestone Addition[J]. Proceedings of the Combustion Institute, 1996, 31(2): 3335-3342.
- [16] 胡芝娟, 刘志江, 王世杰. 模拟分解炉中煤焦燃烧生成NO的特性[J]. 化工学报, 2005, 56(3): 545-550.
HU Zhijuan, LIU Zhijiang, WANG Shijie. NO formation from coal char combustion in cement precalciner[J]. Journal of Chemical Industry and Engineering, 2005, 56(3): 545-550.
- [17] 张东平, 池涌, 严建华, 等. 燃煤流化床钙基脱硫剂对NO转变率的影响及机理[J]. 环境科学, 2003, 24(1): 143-146.
ZHANG Dongping, CHI Yong, YAN Jianhua, et al. Influence and mechanism of calcium-based desulfurizer on NO conversion in fluidized bed of coal. [J]. Environmental Science, 2003, 24(1): 143-146.
- [18] Kim Dam-Johansen, Hansen Peter F B, Rasmussen Soren. Catalytic reduction of nitric oxide by carbon monoxide over calcined limestone: reversible deactivation in the presence of carbon dioxide[J]. Applied Catalysis B: Environmental, 1995, 5(4): 283-304.
- [19] 张利琴. 煤烟气再循环燃烧颗粒物排放特性的实验研究[D]. 北京: 清华大学. 2008.
ZHANG Liqin. Experimental Study on the Particle Emissions of Recycled Flue Gas Combustion of coal[D]. Beijing: Tsinghua University, 2008.
- [20] Croiset E, Thambimuthu K V. NO_x and SO₂ emissions from O₂/CO₂ recycle coal combustion[J]. Fuel. 2001, 80:2117-2121
- [21] Okazaki K, Ando T. NO_x reduction mechanism in coal combustion with recycled CO₂[J]. Energ. Fuel. 1997, 22(2-3):207-215.
- [22] 阎维平, 赵文娟, 鲁晓宇. 适合富氧燃烧发电系统的空分制氧能耗分析[J]. 低温工程. 2011(2):19-24.
YAN Weiping, ZHAO Wenjuan, LU Xiaoyu. Energy consumption analysis of air separation units for oxygen-enriched combustion power generation system[J]. Cryogenics. 2011(2):19-24.
- [23] 毛玉如, 方梦翔, 王勤辉, 等. O₂/CO₂气氛下循环流化床煤燃烧污染物排放的试验研究[J]. 动力工程. 2004, 24(3):411-415.
MAO Yuru, FANG Mengxiang, WANG Qinhui, et al. Experimental Research on Pollutant Emission of Coal Combustion in a Circulating Fluidized Bed Test-Facility Under O₂/CO₂ Atmosphere. Power Engineering, 2004, 24(3):411-415.

- [24] 刘彦. O₂/CO₂ 煤粉燃烧脱硫及 NO 生成特性实验和理论研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2004.
LIU Yan. The Experimental and Theory Study Characteristics about Desulfurization and NO Release Under O₂/CO₂ Coal Combustion[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2004.
- [25] 西安热工研究院. 火电厂 SCR 烟气脱硝技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2013: 11-14.
Xi'an Thermal Power Research Institute. The SCR technology of flue gas denitrification in thermal power plant [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2013:11-14.

Feasibility analysis of oxy-fuel technology used for cement production process to control NO_x emissions

LI Hui^{1,2}, FAN Xiao¹, DING Songxiong¹, DUAN Yonghua¹, ZHENG Wukui¹

(1. School of Material and Mineral Resource, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China;
2. Shaanxi Techno-institute of Recycling Economy, Xi'an 710055, China)

Abstract: As the amount of cement production increase every year in China, the total amount of NO_x emissions from cement production process is also growing heavily. Therefore, the control over NO_x emissions becomes an urgent task in cement industry. In this paper, the feasibility of oxy-fuel technology used for cement production process to control NO_x emissions is analyzed. The mechanism of denitration, the state-of-the-art research and challenges of oxy-fuel technology are discussed. The paper concludes that there is a great potential for reducing the cement industry NO_x emissions by using oxy-fuel technology.

Key words: Oxy-fuel; cement; NO_x

(本文编辑 吴海西)

(上接第280页)

- [7] 王乾坤. 建设项目集成管理研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2006.
WANG Qiankun. Research on integrated management of construction projects[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2006.
- [8] 莫俊文. 工程进度网络中工时的相依性研究[D]. 天津: 天津大学, 2010.
MO Junwen. Study on the dependence of duration in project scheduling networks[D]. Tianjin: Tianjin University, 2010
- [9] PONTRANDOLFO P. Project duration in stochastic networks by the PERT-path technique [J]. International Journal of Project Management, 2000, 18(3): 215-222.
- [10] HUNT S D, JR J D. Selective training of feed forward artificial neural networks using matrix perturbation theory [J]. Neural Networks, 1995, 8(6): 931-944.
- [11] 郭斌. 变结构神经网络模糊控制方法及其在橡胶烘干过程中的应用[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2001.
GUO Bin. A structure changed fuzzy control method based on neural network and its application in rubber drying process [D]. Xi'an: Xi'an Univ. of Arch. & Tech., 2001.

A double CPM for project duration estimates by BP neural networks

SHI Zeyun¹, LI Yong², YANG zhen³, GU Qinghua¹

(1. School of Management, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China; 2. China MCC20 Group Corp. Ltd, Shanghai 201900, China; 3. School of Materials and Mining Capital, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China;)

Abstract: Construction projects are often quite complex with a lot of uncertainty about the required duration. For a project planner, it is important to ensure project completion within the deadline. In the construction environment, the activity time can be seen as a random variable, so the project duration can also be seen as a random variable. It is rather complicated to obtain the probability distribution for project duration using analytical or numerical methods, while simulation through a large number of samplings can only produce an approximate solution. Therefore, this research proposes the double paths BP neural networks evaluation technique. The neural network model can reduce the amount of calculation in estimating project duration and obtain a speedier solution than PERT. The results of applying the neural networks developed from this research to estimating the mean duration and the duration for a given confidence level for two project cases show that they can achieve a mean absolute percentage errors within 1.5%.

Key words: neural networks; project duration; double CPM; duration estimates; PERT

(本文编辑 桂智刚)