文章编号:1673-0062(2016)02-0117-06

高填土边坡中双排桩扶壁式挡墙设计方法研究

陈　荣[1],杨仕教[2*],李　锐[3]

(1.南华大学 环境保护与安全工程学院,湖南 衡阳 421001;2.南华大学 核资源工程学院,湖南 衡阳 421001;
3.东风越野车有限公司,湖北 十堰 442000)

摘　要:双排桩扶壁挡土墙是高填土边坡的一种新型支挡结构,由于能较好控制边坡变形大和解决施工安全较差的问题而得到了推广应用.但是,这种支挡结构用于高填土边坡支护的设计计算较为复杂,且没有统一的计算方法,对指导设计带来一定的困难.文章根据高填土边坡双排桩扶壁挡土墙的受力特点,提出了一种基于模型试验和工程实测平面刚架模型的简便设计计算方法.将这种方法应用于某法院建筑填方高边坡治理方案设计,并对设计边坡的最危险工况利用有限元行了数值分析,模拟结果与设计方法计算结果吻合较好.边坡自施工开始进行了连续位移监测,竣工完成近一年半后水平位移最大值为 21.3 mm.通过该工程实施结果表明,文章提出的设计计算方法方便可靠,对后续类似边坡工程设计具有一定的借鉴意义.

关键词:双排桩扶壁式挡墙;高填土边坡;计算方法;有限元模拟;位移监测
中图分类号:TU473.1　　**文献标识码**:B

Research of Design Method of Composite Retaining Wall with Double-row-piles and Counterfort Retaining Walls in High-filled Slope

CHEN Rong[1], YANG Shi-jiao[2*], LI Rui[3]

(1.School of Environmental Protection and Safety Engineering, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China; 2.School of Nuclear Resources Engineering, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China; 3.Dong Feng SUV Co.Ltd, Shiyan, Hubei 442000, China)

Abstract: Double row piles buttress retaining wall is a new type of high fill slope retaining structure.due to the good control of the slope deformation and solving the problem of construction safety, it has been popularized and applied. But, at present, the calculation method of double row pile retaining wall design is comparatively complicated and there is no unified

收稿日期::2016-01-08
作者简介:陈　荣(1989-),女,湖北武汉人,南华大学环境保护与安全工程学院硕士研究生.主要研究方向:岩土工程勘察设计. * 通讯作者.

system, which brings some difficulties to the guidance design. According to the stress characteristics of high filling slope double row pile buttressed retaining wall, this paper proposes a calculation method of feasible design of model test and engineering test plane frame model, and applies this kind of design method in the high fill slope treatment engineering practice of a court building. In order to study the influence of the slope treatment plan on the environment and to improve the safety degree of the plan, the finite element software is used to analyze the most dangerous working condition of the slope, and the analytical results are compared with the calculation results of the design method. The results in the construction process and the slope displacement monitoring after the completion of the construction show that the design method is feasible. This method is simple and practical, and it has certain reference value for the similar slope engineering design.

key words: double row pile supporting wall; high fill slope; computational method; finite element modelling; displacement monitoring

0 引 言

由于建筑用地空间和工程建设的需要,一类高填土边坡的安全问题和环境保护问题日趋明显.高填土边坡具有扰动变形大、受荷固结度高和施工安全性差等特点[1],这类边坡采用单一支护方式很难达到预期的效果,因此考虑采用组合式支挡结构成为一种必然趋势.因填土锚固承载力低,锚杆(索)柔性支挡结构很难达到控制变形的效果,而双排桩由于刚度大,对变形控制较为明显[2].因而采用双排桩扶壁挡墙新型组合支挡结构在解决高填土边坡变形大、空间受限的问题得到日益广泛的应用[3-5].尽管双排桩扶壁挡墙在工程中有了一定的应用,但是其计算方法研究较为滞后,随着不少科研工作者对双排桩和桩基托梁挡土墙做出了的相关研究,得出一些有益的成果.有关双排桩用于滑坡治理工程的计算模型研究颇多,申永江[6]等根据土拱理论和极限平衡理论,推导前后排桩承受滑坡推力的计算公式,从而推出滑坡推力的分配计算方法.胡松[7]等引入 p-y 曲线法模拟桩间土与双排桩接触非线性特征,并结合经典土压力理论与相关应力路径试验对其参数求解,从而建立双排抗滑桩与桩周土体非线性相互作用模型.范秋雁[8]等运用弹性地基梁的挠曲微分方程结合力法方程针对只有后排桩挡土,前后排桩间没有土体的双排桩建立了一种结构内力解析计算方法,计算结果与实测结果相比较为精确.为了对支护结构的效果进行预估,提高方案的安全性,部分学者[9-10]采用数值模拟对方案进行仿真,论证方案可行性的同时也得出了一些有益的结论.以上研究尽管取得了一些成果,但针对本文中的高填土边坡这种特殊边坡,以上各种模型的计算理论均不适用,因此本文基于现有双排桩和桩基托梁结构设计计算理论,提出适用于高填土边坡中的双排桩扶壁式挡土墙设计计算方法,并将以某法院建筑填方高边坡治理工程加以详细说明.

1 双排桩扶壁挡墙计算方法的建立

1.1 厚填土中双排桩扶壁挡墙受力机理

1)双排桩扶壁挡墙结构刚度较大,而填土是一种特殊性土体,刚度小、成分复杂,受力后变形较大,故双排桩扶壁挡墙的变形成为工程师关注的重点.

2)填土对扶壁挡墙土压力较大,这部分土压力一部分转化变成扶壁挡墙立板的弯矩,另一部分由扶壁来承担.根据工程实践,扶肋类似于“受拉构件”承受较大土压力,是悬臂式挡墙无法比拟的.

3)双排桩受力除了承受桩侧的土压力,桩顶扶壁式挡墙传递给支护桩的水平力,竖向力及弯矩对桩的内力分布影响较大.

4)双排桩前后排桩由于桩间土的存在,所受土压力相差较大,内力的分布规律不尽相同.由于受力后填土压缩变形较大,从而使连梁承受竖向力大,剪力大.

5)桩基竖向受力优于侧向受力,将双排桩与扶壁挡墙结合,排距选取合理时可将坡顶竖向荷载传递到扶壁挡墙底板,此时双排桩类似于桩基础,有利于结构的侧向变形和桩身内力控制.

1.2 厚填土中双排桩扶壁挡墙的计算方法建立

双排桩扶壁挡墙是双排桩和扶壁挡土墙两种支护结构的结合,设计计算分为结构内力计算、抗

倾覆稳定性计算和整体稳定性计算.

其中结构内力的计算最为复杂,为便于解析计算需要对力系做一定的简化.

首先考虑扶壁挡墙对双排桩结构内力的影响.扶壁挡墙的土压力可以根据边坡规范[11]土压力计算方法求解,从而可以计算扶壁挡墙的结构内力.为避免冗长的计算,将双排桩扶壁挡墙整个结构简化底端固定“h”型刚架,通过结构力学即可求解扶壁挡墙对双排桩内力的影响,如图 1.

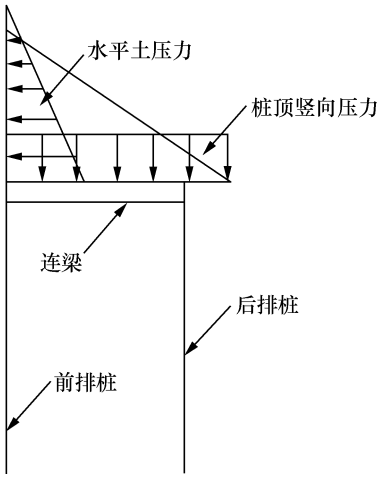

图 1　力系简化模型一

Fig.1　The first simplified model of force system

其次考虑双排桩桩后土压力对双排桩支护结构的影响,选用基于模型试验和工程实测平面刚架模型[12-13],该模型以双排桩结构作为钢架,将桩前土体和桩间土体假设成土弹簧,桩后所受荷载为主动土压力.由于该模型偏于半经验半理论,与实际情况较为接近,且易于实现,本文设计方法采用此种模型,如图 2.

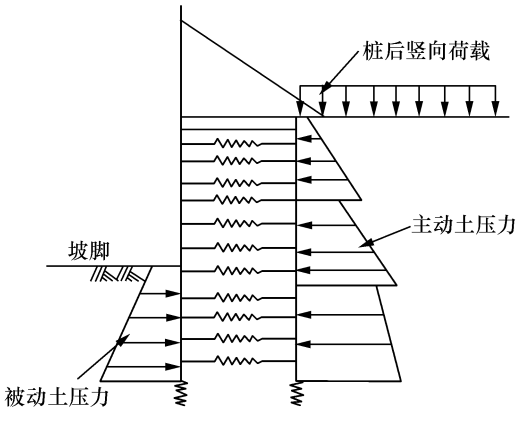

图 2　力系简化模型二

Fig.2　The second simplified model of force system

结构最终的内力设计计算结果为上述两种模型计算结果的叠加.设计中另外两种稳定性计算可根据传统单排桩的抗倾覆和整体稳定性方法进行验算,设计方法简单易于实现.

2　工程实例验证

2.1　工程概况

该边坡为某市人民法院审判庭建筑场地整平之后形成的填方边坡,边坡处理长度约为 43.5 m,坡脚场地比较平整标高为 57.67 m,坡顶标高为 67.25 m,高度约为 9.58 m.坡顶有一栋 3F 建筑物和一条道路.建筑物采用桩基础,以中风化泥岩为持力层,边线距离坡顶线约 8.56 m;道路为沥青混凝土路面,道路宽为 6 m,边线紧挨坡顶线.

建筑场地西高东低,地貌单元属于内陆丘陵剥蚀地貌,此区域主要为填方区域.根据勘察报告,边坡主要的土层为含砾填土、残积土、强风化泥岩和中风化泥岩,其中填土厚度约 11.45 m.残积土为可塑~硬塑状态,厚度约 1~8.3 m;强风化泥岩岩芯呈碎块状或土状,厚度为 1.9~7.3 m.中风化泥岩层状结构,岩体质量等级为Ⅵ级,勘察控制厚度为 8~10 m.由于该区域内主要是填土区域,且坡顶存在一条道路,为了保证坡顶道路和坡脚已建建筑物的安全,对该边坡进行支护.

杂填土主要的特点是受力后变形比较大,因此为了保证道路和建筑物不发生过大的变形,在施工前对道路下方 4 m 土换填成一定级配的卵石土.由于填土较厚,且填土的锚固能力较差,难以发挥效果,依据上述双排桩扶壁挡墙新型支挡作用机理分析,结合技术和经济可行性,决定本边坡支护采用受力较好的双排桩+钢筋混凝土扶壁式挡墙综合治理方案.其中最大的特点是可以利用双排桩和扶壁挡墙的底板承受道路荷载,避免填土在道路荷载作用下发生过大沉降.

2.2　方案设计与计算

根据实际工程,双排桩采用直径 $D=1.2$ m 的 C30 圆形桩,桩间距为 3 m,桩与桩之间采用 C30 冠梁连接,冠梁尺寸为 1.2×0.8 m;前后桩排距为 4 m,采用 C30 连梁连接,尺寸为 1.2×0.8 m.扶壁挡土墙结构均采用 C30 砼,扶肋宽 0.5 m,间距 3 m;挡墙底板为 0.5 m,宽度为 5.2 m;立板厚 0.3 m,高度为 4.05 m.计算参数根据勘察报告和地区经验综合确定,如表 1.

表 1 材料物理力学参数

Table 1 Physical and mechanical parameters of materials

材料	γ/(kN·m^{-3})	E/MPa	μ	c/kPa	φ/(°)
含砾填土	17.2	12	0.38	12	12
粉质粘土	17.5	35	0.35	22	18
强风化泥岩	19.5	250	0.3	50	25
中风化泥岩	22.0	3.1×10^3	0.22	100	35
桩和连梁	25.0	3.1×10^4	0.2	/	/
扶壁挡土墙	24.0	2.55×10^4	0.2	/	/

经计算,扶壁挡墙抗滑移安全系数 1.8,抗倾覆安全系数 4.7;设计桩长 20.8 m,前排桩最大弯矩为 1705.3 kN·m,最大剪力 928.3 kN;后排桩最大弯矩 1692.1 kN·m,最大剪力 810.26 kN.水平和竖向位移分析结果分别为 26.21 mm 和 15 mm.整体稳定性安全系数 2.24;抗倾覆安全系数 1.6,满足设计要求.具体设计方案平面图和剖面图如图 3~图 4 所示.为了分析边坡治理方案对环境的影响以及提高方案的安全度,利用有限元岩土软件针对边坡最危险工况进行了数值分析.

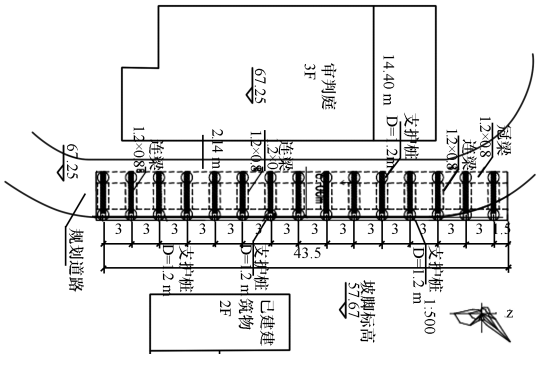

图 3 边坡治理平面图

Fig.3 Planar graph of slope treatment

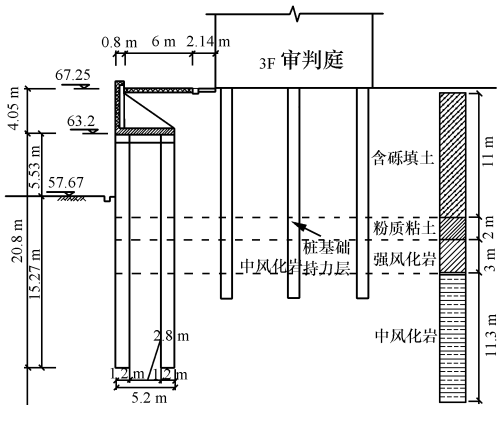

图 4 边坡治理剖面图

Fig.4 Profile of slope treatment

2.3 有限元分析

2.3.1 有限元模型

本文采用岩土有限元软件 MIDAS/GTS 对设计进行有限元分析.模型中土体采用平面应力单元和摩尔-库仑本构模型,扶壁式挡墙底板和立面板简化为宽 1 m 的梁,高度为结构的厚度,间距为 1 m.扶壁简化为厚度 0.5 m,梁高取扶肋最长距离的一半,间距为 3 m,挡墙各结构均采用线单元和弹性本构模型.桩、连梁也均为梁单元,采用线单元和弹性本构模型.双排桩扶壁挡墙结构模型如图 5 所示.为了减小计算范围和人工边界对计算结果的影响,选择长×高=60 m×33 m 的有限元模型区域,其中道路荷载取 25 kN/m,计算模型有限元网格划分见图 6.

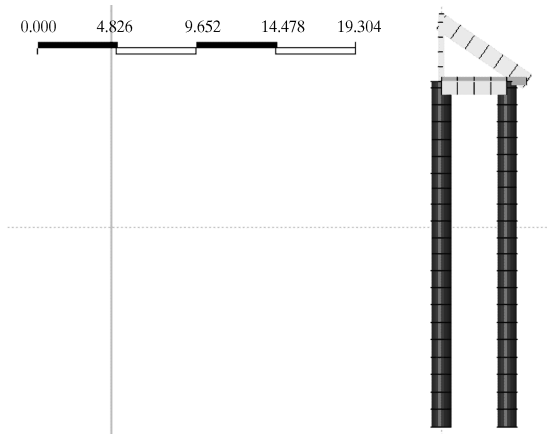

图 5 支护结构模型

Fig.5 Retaining structure model

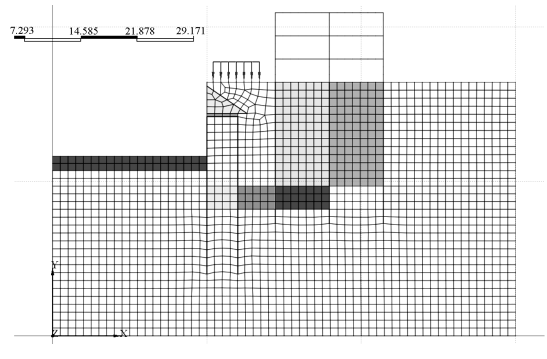

图 6 计算模型有限元网格图

Fig.6 FEM mesh of calculation model

2.3.2 计算结果与分析

利用有限元分析方案,主要为了评估方案的治理效果,同时也可以与设计方法计算结果对比,所以选择性截取位移分析云图(图 7 和图 8)和支

护结构的内力图(图 9 和图 10).

1)位移场分析

由于坡顶存在一道小区道路和一栋三层楼的建筑物,为此水平位移和竖直位移是评价设计方案可行性的重要依据,因为过量的竖直位移将直接导致路基的开裂、沉陷,影响道路交通的安全性.

图 7 为支护方案施工后边坡的水平位移云图,从中可以看出边坡的最大水平位移位于墙顶处为 22 mm,小于设计方法的计算结果 26.2 mm.建筑物区域水平位移较小,基本在 1 cm 左右,影响较小.

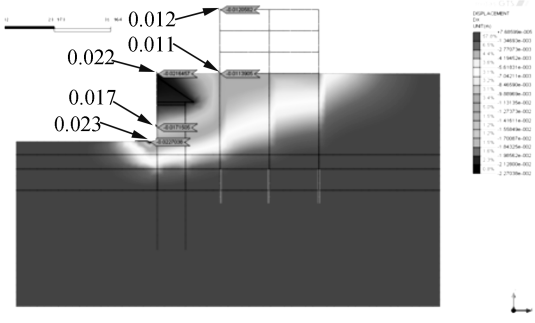

图 7　整体水平位移云图

Fig.7　Overall horizontal displacement contours

竖向沉降是评价路基稳定性的重要指标,设计图 8 为边坡的竖向位移云图,其中拟建道路范围内沉降最大值为 5.18 mm.说明换填路基对控制沉降效果明显,同时也说明设计方案治理效果显著.

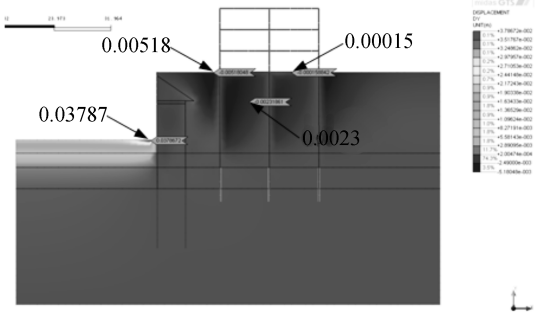

图 8　整体竖向位移分布云图

Fig.8　Overall vertical displacement contours

2)桩的剪力和弯矩分析

图 9 和图 10 分别是支护结构的剪力图和弯矩图,从图 9 可以看出,前、后排桩的最大剪力值分别为 641.04 kN 和 550.1 kN,均未超过设计方法计算结果 928.3 kN 和 810.26 kN,前后排桩间的连梁剪力值 542.82 kN,说明协调前后排桩间位移过程中受力较大,成为设计方案中的薄弱环节.

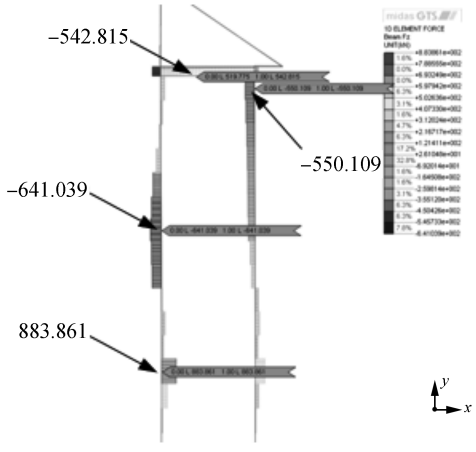

图 9　桩的剪力值云图

Fig.9　Shear contours of pile

图 10 中前排桩弯矩最大值为 1463.49 kN·m,后排桩最大值出现在应力集中点处 2215 kN·m,其它部位不超过 1665.7 kN.除桩顶和连梁交点处应力集中外,其它部位计算结果均未超过设计计算值.因此类似工程设计方案在桩顶局部增强(增加截面和加密钢筋)即可弥补设计方案的不足之处.

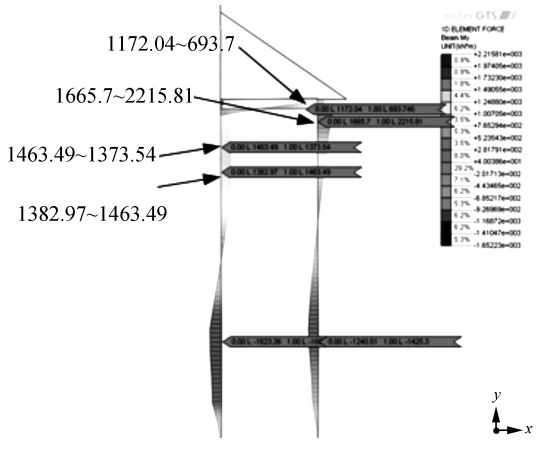

图 10　桩的弯矩值云图

Fig.10　Moment value contours of pile

2.4　设计方案效果监测

由于设计方案具有风险性,审图专家经多次论证一致通过设计方案,并对设计方法和数值仿真结合的设计方法提出肯定.边坡自施工起至今竣工完成近一年半的监测结果显示,如图 11,边坡的变形较小,水平位移最大值为 21.3 mm,根据

相关规范要求,坡顶水平位置值不超过 30 mm 为偏安全,因此治理效果明显,可供类似工程借鉴.

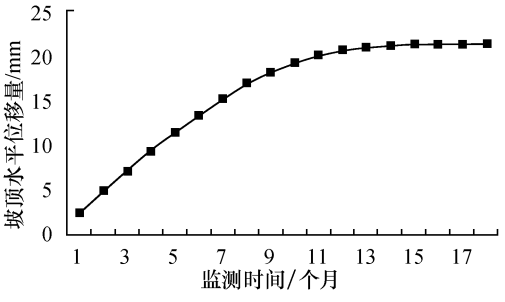

图 11 坡顶水平位移变化图

Fig.11 Variation of horizontal displacement of the slope top

3 结 论

1)本文提出的双排桩扶壁挡墙设计计算方法,通过对高填土边坡治理工程的数值模拟验证,表明该方法计算结果可靠.

2)边坡治理工程施工后的连续监测数据进一步验证了工程设计计算数据可靠.

3)文中双排桩扶壁挡墙新型支挡结构的设计方法简易可行,适用于高填土边坡治理工程设计,对后续类似工程设计具有一定的借鉴意义.

参考文献:

[1] Zhang Q.Analysis and study on slope stability of high fill subgrade[J].Advanced Materials Research,2014,3149(919):637-640.

[2] 邵广彪,孙剑平,崔冠科.某永久边坡双排桩支护设计及应用[J].岩土工程学报,2010,32(S1):215-218.

[3] Liu S C.Study on settlement of high fill embankments on rock slope under complicated stress conditions[J].Advanced Materials Research,2012,1494(368):874-880.

[4] 唐秋元,施毅,周峰,等.混合支挡结构在工程中的应用[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2011,30(S1):541-544.

[5] 赵如意.桩基托梁挡土墙在黄土路堑中的应用研究[J].铁道标准设计,2013(10):35-39.

[6] 申永江,孙红月,尚岳全,等.滑坡推力在悬臂式双排抗滑桩上的分配[J].岩石力学与工程学报,2012,31(S1):2668-2673.

[7] 胡松,杨明辉.双排桩抗滑桩土作用分析模型及其应用[J].公路工程,2012,37(1):7-11.

[8] 范秋雁,许胜才,崔峰.一类双排桩支护结构内力计算[J].岩石力学与工程学报,2012,31(S1):3152-3158.

[9] 崔宏环,张立群,赵国景.深基坑开挖中双排桩支护的三维有限元模拟[J].岩土力学,2006,27(4):662-666.

[10] Liu W T,Tsai H Y,Tu M H.Numerical analysis of the ground anchor and row piles in mudstone dip slope[J].Applied Mechanics and Materials,2012,1975(204):703-707.

[11] 中华人民共和国国家标准编写组.GB 50330—2013 建筑边坡工程技术规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2013.

[12] Li L J,LiangR W.Research on the spatial effect of double row piles structure system in deep foundation[J].Advanced Materials Research,2012,1945(374):2367-2370.

[13] 中华人民共和国行业标准编写组.JGJ 120—2012 建筑基坑支护技术规程[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.

(上接第 116 页)

[10] Kunz R F,Lakshminarayana B.Explicit Navier-Stokes computation of cascade flows using the k-epsilon turbulence model[J].Aiaa Journal,1992,30(1):13-22.

[11] HumphriesW,Madden J J.Fabric filtration for coal-firedboilers:dust dislodgement in pulse jet filters[J].Filtration and Separation,1983,20(1):40-44.

[12] 林莉君,陈海焱,周喜,等.脉冲喷吹滤筒除尘器清灰性能的实验研究[J].暖通空调,2009,39(4):148-151.

[13] 巨敏.滤筒除尘器脉冲清灰系统研究[D].绵阳:西南科技大学,2013.

[14] Launder BE,Spalding D B.Lectures in mathematical models of turbulence[J].Von Karman Institute for Fluid Dynamics,1972.

[15] 杨迪,陈海焱,李怀玉.喷吹压力和脉冲宽度对脉冲喷吹滤筒除尘器清灰效果的影响[J].安全与环境学报,2008,8(5):73-76.

[16] 张情,陈海焱,巨敏,等.诱导喷嘴改进滤筒脉冲清灰效果的实验研究[J].环境工程,2012,30(1):62-65.