

黑河下游额济纳地区植被变化规律及最小需水量的估算

金晓媚 胡光成

(中国地质大学(北京)水资源与环境学院 北京 100083)

摘要 将2000~2008年MODIS-NDVI与黑河径流量数据相结合,在区域尺度上定量研究额济纳绿洲植被的多年变化规律及其与河流径流量的关系,并对额济纳地区的最小需水量进行了估算。结果表明,在新的配水方案实施后,绿洲年均植被指数呈上升趋势并与黑河径流以及地下水有很强的依赖关系,而且黑河径流对额济纳绿洲的影响存在1年的滞后期。维持额济纳地区生态环境不发生退化的年最小需水量为 $4.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

关键词 MODIS-NDVI; 径流量; 最小需水量; 额济纳绿洲

中图分类号: P641; Q948

文献标识码: A

文章编号: 1006-7647(2010)01-0030-05

Vegetation change and estimation of the smallest water demand of Ejina oasis in lower reaches of Heihe River // JIN Xiao-mei, HU Guang-cheng / School of Water Resources and Environment, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract : By combining the MODIS-NDVI with the runoff of Heihe River during the period of 2000-2008, the annual change rules of the vegetation of Ejina oasis and its relationship with and the runoff of Heihe River were quantitatively studied from a regional scale. The smallest water demand in this region was estimated. The results indicate that the annual mean NDVI of Ejina oasis has an exponential increase tendency after the implementation of the new water allocation scheme of and greatly depends on the runoff of Heihe River and the groundwater. The impact of the runoff of Heihe River on Ejina oasis has the time lag of 1 year. The annual smallest water demand to sustain the ecological environment in Ejina area is $4.5 \times 10^8 \text{ m}^3$.

Key words : MODIS-NDVI; runoff; smallest water demand; Ejina oasis

在中国西北干旱内陆地区,降雨量少、水资源缺乏、植被稀疏,生态环境相当脆弱。而“绿洲”则是当地人类生存和社会发展的主要依托^[1]。近年来,受气候和人类活动的影响,西北地区的绿洲呈现退化趋势,引起土壤荒漠化、湖泊萎缩等一系列的环境地质问题,有些地区甚至成为沙尘暴的主要源地。

黑河流域是我国第二大内陆河流域,面积约14万 km^2 。近几十年来随着黑河流域中游地区张掖绿洲面积的不断扩大,用水量的逐年增加,下游额济纳地区的来水量不断减少,使额济纳绿洲面积逐渐减小,湖泊干涸,沙漠化严重,生态环境恶化^[2]。而在控制和维系绿洲生态状况的诸因素中,水的作用极为重要。因此,研究河流流量与植被生长之间的定量关系,估算额济纳地区的最小需水量,对改善黑河流域生态环境、协调用水矛盾和合理配置水资源具有重要的意义。

对西北干旱内陆地区水资源开发利用所产生的

生态环境问题的探讨历来已久,钟华平等^[3]根据额济纳绿洲地下水位埋深和水位变化,结合植物的长势和地面景观调查,采用对比分析的方法得出额济纳绿洲不同植物生长的地下水位埋深阈值、适宜区间及其相应的水位变幅。王根绪等^[4]采用绿洲生态斑块动态模拟、植被与水盐状态相关分析、生态需水量估算等方法,研究额济纳地区上游水资源不同供给情况下,下游绿洲生态演变趋势和可能的保存规模。王志敏^[5]从分析额济纳绿洲水环境的时空演变着手,论证了额济纳地区荒漠植被与水环境的关系。都瓦拉等^[6]采用1996年、2000年、2002年和2006年4个时期的TM卫星遥感数据对黑河下游额济纳绿洲的植被恢复效果进行了遥感监测。以上研究基于地面调查资料、数学方法和非连续的卫星数据来探讨绿洲和水资源的关系,取得了一定的成果,但西北干旱地区地域广阔,环境恶劣,缺乏实地调查资料,传统的研究方法难以从宏观尺度确定绿洲和水资源

的定量关系。

近年来,随着遥感技术的发展,遥感数据已经普遍应用于生态环境变化的研究中。遥感数据以其量大、覆盖范围广、时间序列性强等特点,在大尺度的生态环境研究中具有其他数据所无法替代的优越性^[7-10]。目前,遥感数据已广泛地应用于作物估产、土地利用变化及沙漠绿洲植被的研究中^[11-14]。

本文以西北干旱地区额济纳绿洲为研究对象,利用遥感数据从区域尺度上研究额济纳绿洲的多年变化规律,并采用逐步回归的方法建立了黑河流量与额济纳绿洲植被变化之间的定量关系。最后,对维持额济纳地区生态环境不发生退化的需水量进行了估算。

1 研究区概况

额济纳旗位于内蒙古自治区最西部、黑河流域下游,地理位置东经 $97^{\circ}10' \sim 103^{\circ}7'$,北纬 $39^{\circ}52' \sim 42^{\circ}47'$,土地总面积为 11.46 万 km^2 ,南连甘肃省酒泉市,北与蒙古人民共和国接壤,有 507.14 km 的边境线,是西部边防重镇。额济纳盆地深居内陆腹地,多年平均降水量为 38.9 mm ,多年平均蒸发量为 3653 mm ,具有降水稀少、蒸发强烈、温差大、风大沙多、日照时间长等特点,是典型的大陆性干旱气候区。

黑河是额济纳盆地内唯一的河流,发源于祁连山,全长 821 km ,流经河西走廊,经甘肃省鼎新市进入内蒙古自治区,始称额济纳河。在内蒙古自治区额济纳旗境内的狼心山西麓又分为东、西两河,东河(达西敖包河)向北分 8 条支流呈扇形注入东居延海(索果淖尔),西河(穆林河)向北分 5 条支流注入西居延海(嘎顺淖尔)。平水期河水主要经东河入东居延海,额济纳绿洲即位于东河下游的三角洲地带(图 1)。

黑河干流出祁连山后进入走廊平原,受人为因素的强烈影响,至正义峡断面,径流年内分配明显发生变化。由于中游张掖地区耗水量的逐年增加,使得狼心山水文站的下泄水量自 20 世纪 50 年代以来呈现逐年下降的趋势。50 年代狼心山水文站的年均径流量为 8.66 亿 m^3 ,到 60 年代下降为 7.4 亿 m^3 ,而到了 70 年代和 80 年代则分别减少到 6.53 亿 m^3 和 6.64 亿 m^3 ,至 90 年代则下降到 3.47 亿 m^3 ,严重影响了下游绿洲的发展^[15]。这种变化主要表现为河岸子系统面积减小,与之相邻的戈壁面积增大。据统计^[16-17],1985~1995 年,仅河岸带裸地(盖度小于 10%)的面积就增加了 240 km^2 。额济纳盆地绿洲区面积减小了 223.6 km^2 。

2 数据选择与处理

在遥感数据中,归一化差值植被指数(MODIS-

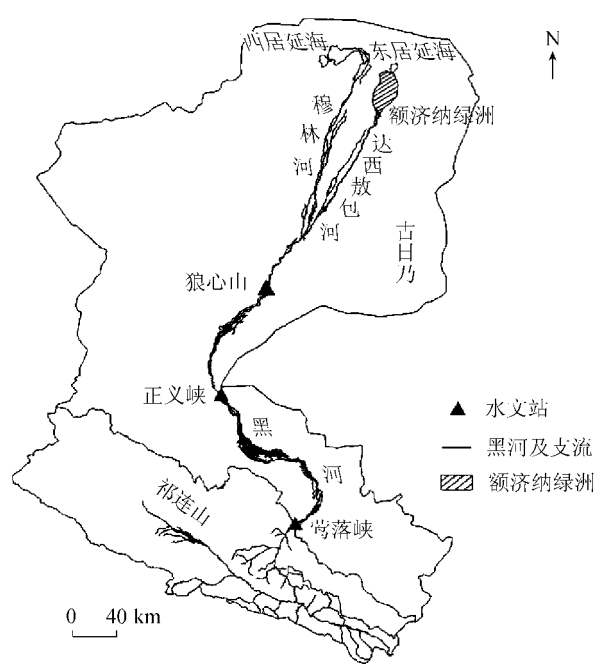


图 1 黑河流域及研究区地理位置

NDVI)是目前广泛采用的反映植被生长状况的植被指数^[18]。MODIS-NDVI 的取值范围为 $-1.0 \sim 1.0$,有植被覆盖的地区 MODIS-NDVI > 0 ,且 MODIS-NDVI 越大,植被生长状况越好,地表覆盖度也越高。

为表征研究区植被的空间分布规律,该项研究中采用 MODIS-NDVI 植被指数产品。MODIS-NDVI 遥感数据可以提供 2000 年至今的中等分辨率的植被指数定量产品,时间分辨率为 16 d,空间分辨率为 250 m ,可以从美国地质调查局的 MODIS 陆地产品网站免费下载(<http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/ims/welcome/>)。其特点是在已有的植被指数基础上进行一系列的改进,增强对植被的敏感度,并在处理过程中降低多种气象变化及非植被因素带来的影响^[19-20]。

为了与流量数据相对应,研究中采用 2000~2008 年的 MODIS-NDVI 数据,由于西北地区干旱少雨,植被只有在每年 6~9 月之间生长最好。因此,本文对额济纳绿洲每年 6~9 月的 MODIS-NDVI 求平均值,以这个平均值代表研究区植被年内生长的平均状态。

3 结果及分析

3.1 额济纳绿洲植被的多年变化规律

在干旱区内陆河流域下游平原,地下水对植被控制作用的表现尤为明显。黑河下游来水绝大部分补给地下水,且行水期与植物生长季节不协调,植物生长所需水分主要依靠地下水支撑。由于来水减少,断流时间增长,使得地下水位不断下降,土壤旱化和表层盐化程度加剧,植被失去水源,长势明显衰退,绿洲面积急剧减少,并导致原生植物群落内部种

类组成发生变化,一些湿生、中生、轻度耐盐植物逐渐被旱生、盐生植物替代,天然植被退化严重,绿洲景观向荒漠化景观演变。

为遏制黑河下游生态日益恶化的趋势,国务院自2000年开始对黑河干流水资源实施统一调度与管理,实现有限水资源的合理配置。调水进入东居延海,实现下游干流全线过水,河道过水长度的显著增加,使黑河下游河道两岸有更多的区域进水,浸润了下游沿河的胡杨林,浇灌了绿洲植被,使额济纳绿洲地下水得到及时有效的补充和恢复,显著改善了下游沿河生态状况,逐渐扭转了下游地区生态环境持续恶化的局面。

本文统计2000~2008年间额济纳绿洲MODIS-NDVI的年平均值随时间的变化规律,见图2(图中 x 表示年, y 表示MODIS-NDVI的年均值)。结果显示,额济纳绿洲的植被出现变好的趋势。植被指数的平均值在0.187~0.239之间变化。

图3显示了不同类型植被的多年变化趋势。根

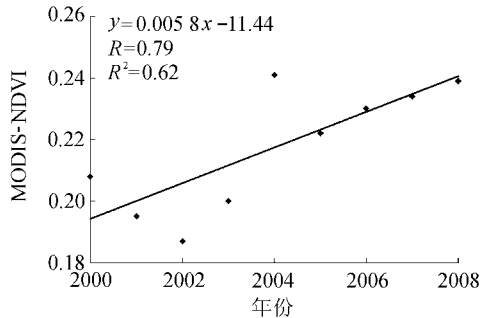


图2 额济纳绿洲2000~2008年植被变化趋势

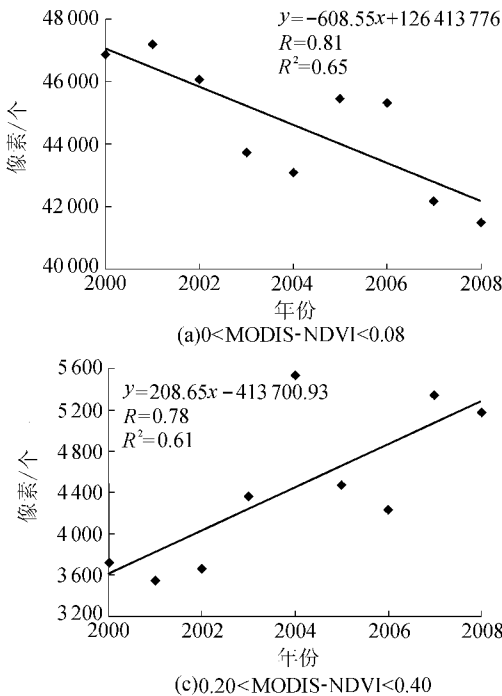


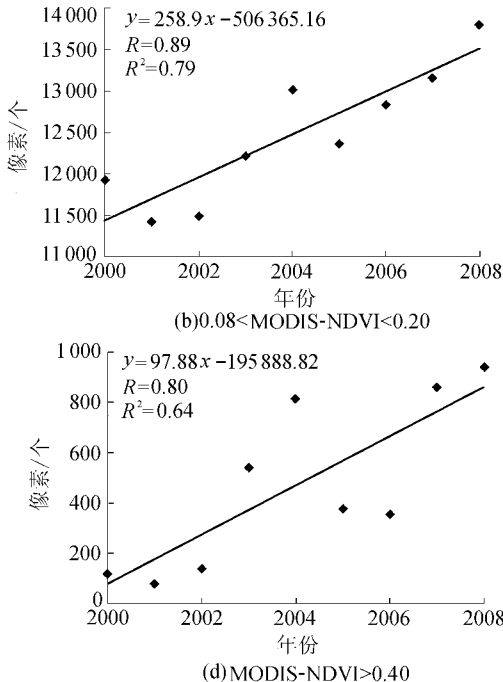
图3 额济纳绿洲不同类型MODIS-NDVI面积(像素值)的变化

据MODIS-NDVI平均值进行分区,统计不同区间MODIS-NDVI像素个数的变化,以此说明其面积的变化。根据像素值的统计结果,无植被区域($0 < \text{MODIS-NDVI} < 0.08$)占据额济纳地区近74%的面积,低植被指数区域($0.08 < \text{MODIS-NDVI} < 0.20$)的区域占全区面积的18%,中等植被指数区域($0.20 < \text{MODIS-NDVI} < 0.40$)的区域占7%,而高植被指数($\text{MODIS-NDVI} > 0.40$)的区域仅占1%。

从图3可以看出,在2000~2008年间,额济纳地区无植被区域呈现下降趋势,而有植被区域则呈明显上升趋势。每年有608个像素,即约 $38 \pm 2.6 \text{ km}^2$ ($608 \times 250 \text{ m} \times 250 \text{ m}$)的裸土区域转化为有植被区域,其中,低植被指数区域面积每年增长约 16 km^2 ,中等植被指数区域面积每年增长约 13 km^2 ,高植被指数区域面积每年增长约 6 km^2 。从以上分析可以看出,在2000年新的配水方案实施以后,额济纳地区生态植被的环境已经逐步得到恢复。

3.2 绿洲植被与黑河径流量的关系

植被的生长依赖于其根系对包气带水分的吸收,包气带水分与地下水位深浅有关,地下水位深浅在黑河下游主要取决于黑河河水的渗漏补给及地下水开采,黑河的渗漏取决于流过狼心山的黑河径流量,流过狼心山的径流量受黑河中游用水量的影响。根据黑河下游的水文特征,额济纳绿洲来水量在冬季由中游的前期农田灌溉回归水补给,水量年际变化稳定。而河流的丰枯变化主要体现在夏季汛期的来水量上,尤其是具有较大水头的洪水可以快速地到达下游,地下水得到及时有效的补充和恢复,沿河



两岸地下水位升幅比较明显。而此时,绿洲植被的主要生长期已渐结束,抬高的地下水位为下一年绿洲恢复创造了有利条件^[21]。

在 SPSS 专业统计软件中,将 2000~2008 年每年 6~9 月的 MODIS-NDVI 平均值作为因变量(I),当年(R_0)前 1 年(R_1)及前 2 年(R_2)的径流量作为自变量,进行逐步回归分析,结果只有 R_1 超过显著性水平进入到回归方程中,可以看出两者具有很好的线性相关关系(图 4),相关系数为 0.84,显著性水平超过 $\alpha_{0.05}$ 的信度检验,表明绿洲植被对黑河径流以及地下水之间的依赖关系。而且黑河径流对额济纳绿洲的影响存在 1 年的滞后期,而地下水则通过这种滞后作用将两者联系起来。

$$I = 0.0108R_1 + 0.1714 \quad (1)$$

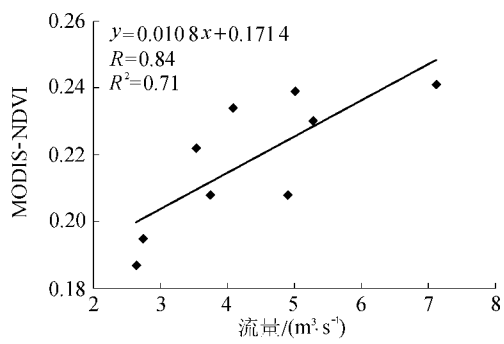


图 4 2000~2008 年额济纳绿洲植被指数与流量的相关关系

3.3 额济纳地区的最小需水量估算

2002 年以前,由于中游下泄水量的逐年减少,致使河水蒸发消耗在流向下游的途中而无法到达东居延海。黑河流域施行新的配水方案后,中游下泄的河水在 2002 年开始进入东居延海。2003 年后东居延海常年有水。根据中华人民共和国水利部的水资源公报显示,每年中游分 2 次向下游放水。2002 年,第 1 次放水是 7 月 17~29 日,第 2 次放水是 9 月 22 日到 10 月 20 日。根据 2002 年 7~9 月的日 MODIS 卫星影像可以发现东居延海的水约在 9 月 16 日蒸干。因此,东居延海湖水蒸发的时间约 45 d (从 7 月 30 日至 9 月 16 日)。而 2002 年第 1 次进入东居延海的水量是 $0.23 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。由此推断出东居延海的月蒸发量约为 $0.15 \times 10^8 \text{ m}^3$ ($0.23 \times 10^8 / 45$) 且大部分蒸发发生在 8 月份。根据 1986~2004 年额济纳气象站的蒸发实测数据统计,8 月份的平均蒸发量占全年蒸发量的 14% 左右。因此,东居延海的年蒸发量约为 $1.1 \times 10^8 \text{ m}^3$ ($0.15 / 14\%$)。换言之,维持东居延海长期有水、生态环境不发生退化的最小需水量为 $1.1 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

自 2003 年开始,东居延海常年有水,2003 年额济纳绿洲的年均 MODIS-NDVI 为 0.208,这个数值代

表了维持额济纳地区植被正常生长的最小值。根据公式(1)可以计算出对应的河流流量约为 $3.4 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。因此,额济纳地区维持生态环境不发生退化的最小需水量应该为植被需水量与东居延海维持长年有水的需水量之和,即为 $4.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

4 结 论

a. 额济纳绿洲在 2000~2008 年年均 MODIS-NDVI 呈上升趋势,裸土面积下降。每年有约 $38 \pm 2.6 \text{ km}^2$ 的裸土区域转化为有植被区域,其中,低植被指数区域面积每年增长约 16 km^2 ,中等植被指数区域面积每年增长约 13 km^2 ,高植被指数区域面积每年增长约 6 km^2 。

b. MODIS-NDVI 与黑河径流量的分析结果表明绿洲植被与黑河径流以及地下水之间的存在依赖关系。而且黑河径流对额济纳绿洲的影响存在 1 年的滞后期,而地下水则通过这种滞后作用将两者联系起来。

c. 根据对东居延海需水量和绿洲植被正常生长的需水量的估算,维持额济纳地区生态环境不发生退化的最小需水量为 $4.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

参考文献:

- [1] 邓建明,王根轩.中国干旱区农业可持续发展的生态措施[J].科技导报,2005,23(7):51-55.
- [2] 王心源,范湘涛,刘浩,等.额济纳旗绿洲生态环境的遥感动态监测分析[J].水土保持通报,2001,21(1):60-62.
- [3] 钟华平,刘恒,王义,等.黑河流域下游额济纳绿洲与水资源的关系[J].水科学进展,2002,13(2):223-228.
- [4] 王根绪,程国栋,沈永平.干旱区受水资源胁迫的下游绿洲动态变化趋势分析——以黑河流域额济纳绿洲为例[J].应用生态学报,2002,13(5):564-568.
- [5] 王志敏.额济纳绿洲荒漠植被退化的水环境的时空演变分析[J].甘肃联合大学学报:自然科学版,2007,21(2):88-92.
- [6] 都瓦拉,邓晓东,玉山,等.黑河下游分水对额济纳绿洲植被恢复效果的遥感监测[J].干旱气象,2008,26(4):68-70.
- [7] KRAJEWSKI W F, ANDERSON M C, EICHINGER W E, et al. A remote sensing observatory for hydrologic sciences: a genesis for scaling to continental hydrology[J]. Water Resources Research, 2006, 42: 1-13.
- [8] TENHUNEN J D, KABAT P. Integrating hydrology, ecosystem dynamics and biogeochemistry in complex terrains[M]. New York: John Wiley Press, 1999.
- [9] BLÖSCHL G, SIVAPALAN M. Scale issues in hydrological sciences-a review[J]. Hydrological Processes, 1995, 9(3/4): 251-290.

[10] BROWN J H ,GUPTA V K ,LI Bai-lian ,et al. The fractal nature of nature : power laws , ecological complexity and biodiversity[J]. Philosophical Transactions of the Royal Society 2002 357 619-626.

[11] TUCKER C J ,DREGNE H W ,NEWCOMB W W. Mean and inter-year variation of growing-season normalized difference vegetation index for the Sahel 1981 - 1989[J]. International Journal of Remote Sensing ,1991 ,12 :1113-1115.

[12] TUCKER C J ,NEWCOMB W W ,DREGNE H E. AVHRR data sets for determination of desert spatial exten[J]. International Journal of Remote Sensing ,1994 ,15 3547-3565.

[13] ELMORE A J ,MUSTARD J F ,MANNING S J , et al. Quantifying vegetation change in semiarid environments : precision and accuracy of spectral mixture analysis and normalized difference vegetation index[J]. Remote Sensing of Environment 2000(73) 87-102.

[14] McGWIRE K ,MINOR T ,FENSTERMAKER L. Hyperspectral mixture modeling for quantifying sparse vegetation cover in arid environments[J]. Remote Sensing of Environment ,2000 (72) 360-374.

[15] 金晓媚 胡光成 ,李文梅. 中国西北地区额济纳绿洲植

被盖度与黑河流量的滞后效应研究[J]. 地学前缘 , 2008 ,15(4) :198-203.

[16] 孙文新 ,曾群柱. 黑河下游干旱地区环境变化研究[J]. 中国沙漠 ,1997 ,17(2) :149-153.

[17] 王根绪 程国栋. 干旱荒漠绿洲景观空间格局及其受水资源条件的影响分析[J]. 生态学报 ,2000 ,20(3) :363-368.

[18] DEERING D W. Rangeland reflectance characteristics measured by aircraft and spacecraft sensor[D]. Texas :Texas A&M University ,College Station ,1978 338.

[19] HUTE A ,JUSTICE C ,Van LEEWEN W. MODIS Vegetation Index(MODIS13) algorithm theoretical basis document[M]. New York :NASA Press ,1996 35-39.

[20] KING M D ,GREENSTONE R. EOS reference handbook :a guide to NASA 's earth science enterprise and the Earth Observing System [M]. Greenbelt : NASA/GSFC ,1999 :1-361.

[21] 金晓媚 ,刘金韬. 黑河下游地区地下水与植被生长的关系[J]. 水利水电科技进展 2009 29(1) :1-4.

(收稿日期 2009-05-14 编辑 :方宇彤)

(上接第 29 页)

精度高的优点 ,其次是前处理比 FEM 软件方便 ,克服了 FEM 软件对细小特征采用等效方法将网格划分得足够细才能近似模拟的缺点。该法在边界上增加或减少节点非常容易 ,所以适用于解决自适应问题、裂纹问题及接触问题。但是目前本文仅局限于模拟稳态热传导 ,下一步结合双向互异法可推广到非稳态的热传导以模拟实际混凝土的热传导问题^[10]。

参考文献 :

[1] 张见明. 一种新的边界类型无网格法——杂交边界点法[D]. 北京 :清华大学 2002 29-51.

[2] ZHANG Jian-ming ,YAO Zhen-han. Meshless regula hybrid boundary node method comput mode[J]. Eng Sci ,2001 2 : 307-318.

[3] ZHANG Jian-ming ,YAO Zhen-han. A hybrid boundary node method[J]. Int J Numer Meth Engng 2002 53 :751-763.

[4] GREENGARD L ,ROKHLIN V. A fast algorithm for particle simulations[J]. J Comp Phys ,1987 ,73 325-348.

[5] ZHANG Jian-ming , TANAKA M. Adaptive spatial decomposition on fast multiple Method[J]. J Comput Phys , 2007 226 :17-28.

[6] NISHIDA K ,NISHIMURA N ,KOBAYASHI S. Application of the fast multipole method to the 3D BEM analysis of electron guns [M]. Southampton : Southampton Computational Mechanics Publications ,1997 229-629.

[7] YOSHIDA T ,NISHIMURA N ,KOBAYASHI S. Application of fast multipole Galerkin boundary integral equation method to elastostatic crack problems in 3D[J]. International Journal for Numerical Methods in Engineering 2001 50 525-547.

[8] ZHANG Jian-ming ,TANAKA M ,MATSUMOTO T. The hybrid boundary node method accelerated by fast multipole expansion technique for 3D potential problems[J]. International J Num Meth Engng 2004 63 660-680.

[9] YOSHIDA K. Applications of fast multipole method to boundary integral equation method[R]. Kyoto :Department of Global Environment Engineering , Kyoto University 2001 345-380.

[10] TANAKA M ,KUROKAWA K ,MATSUMOTO T. A time-stepping DRBEM for transient heat conduction in anisotropic solids[J]. Engineering Analysis with Boundary Elements , 2008 32 :1046-1053.

(收稿日期 2009-02-17 编辑 :方宇彤)

