

基于 GIMMS AVHRR NDVI 数据的神东 矿区 26 年植被指数回归分析

田淑静, 马超, 谢少少, 杨亚莉

(河南理工大学, 矿山空间信息技术国家测绘与地理信息局重点实验室,
河南焦作 454003)

摘要:根据长时间序列中国植被指数数据集(GIMMS AVHRR NDVI),分析了内蒙古神东矿区及周围 20 km 缓冲区 1981-2006 年归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)的变化趋势,对神东矿区及缓冲区的 NDVI 均值进行了一元线性回归分析,并分析了神东矿区与缓冲区的 NDVI 均值的相关性。研究表明:神东矿区及缓冲区 NDVI 均值整体呈上升趋势,斜率分别为 0.0047 与 0.0040,植被状况分别为中度改善与轻微改善;神东矿区及缓冲区 NDVI 值两组变量在 0.01 水平上显著相关,相关系数为 0.971;神东矿区 39 个像元中轻微改善与中度改善各占 35.90%与 64.10%,矿区的植被状况呈向好趋势。

关键词:GIMMS AVHRR NDVI;神东矿区;缓冲区;回归分析

中图分类号:Q948.15+6 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-8759(2015)02-0037-05

THE REGRESSION ANALYSIS OF NDVI CHANGE IN SHENDONG COALFIELD DURING 26 ANNUALS

TIAN Shu-jing, MA Chao, XIE Shao-shao, YANG Ya-li

(Key Laboratory of State Bureau of Surveying and mapping of mine spatial information technology, School of Surveying and Mapping Land Information Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454003, Henan)

Abstract: According to the long time series of China vegetation index set (GIMMS AVHRR NDVI), the change trends about Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in SHENDONG coalfield and its buffer area with a 20km radius are analyzed in Inner Mongolia during the period of 1981-2006. The mean NDVI of SHENDONG coalfield, its buffer area and the NDVI of 39 pixels in SHENDONG coalfield are researched by Monadic linear regression analysis. And the correlation between the mean NDVI of SHENDONG coalfield and its buffer area are analyzed. The study shows that mean NDVI of SHENDONG coalfield and the buffer area are increasing overall, the slopes of the regression line are 0.0047 and 0.0040 respectively, and vegetation conditions are moderate improvement and slight improvement. Two variables are significantly correlated at the 0.01 level, the correlation coefficient is 0.971. 39 pixels in SHENDONG coalfield have two trends, the slight improvement was 35.90%, the moderate improvement was 64.10%, and the vegetation condition in SHENDONG coalfield is in good trend.

Key words: GIMMS AVHRR NDVI; Shendong coalfield; Buffer area; Regression analysis

收稿日期:2014-11-08

基金项目:国家自然科学基金委员会与神华集团有限责任公司联合资助项目(培育项目 U1261106,重点项目 U1261206);2013 年度河南省高校科技创新团队和人才支持计划(13IRTSTHN029);河南理工大学青年基金(Q2015-3)。

第一作者简介:田淑静(1989-),女,河南濮阳人,在读硕士,主要从事遥感矿区生态环境变化研究。

1 引言

连续一致的 NDVI 时间序列数据是陆地表面特征长期监测的基础和前提^[1]。AVHRR NDVI 作为记录时间长、光谱分辨率高、时空分辨率较高的数据集,是未来植被动态监测极为重要的数据源。

利用连续一致的 NDVI 时间序列数据,实现自然生态区植被的动态监测和预测取得了众多成果。Scott J.Goetz 等^[2]利用 AVHRR NDVI,研究了自然生态区的生态演变;Rogier de Jong 等^[3]利用 GIMMS NDVI(1981-2006)数据集对植被的绿化与褐变进行了趋势分析,结果表明 VSD 模型显示植物的绿化与褐变取决于植物的成长强度与年 NDVI 值;姚雪茹,刘华民等^[4]利用 1982-2006 年的 NOAA AVHRR NDVI 数据,分析了鄂尔多斯高原 25 年的植被变化及其驱动因子,认为植被生长阶段 NDVI 增加的主要驱动因子是降水;王强,张勃等^[5]利用 GIMMS AVHRR NDVI 数据,分析了三北防护林工程区植被覆盖动态变化,结果表明近 26 a 来,研究区植被 NDVI 平均值总体呈缓慢上升趋势,而西北荒漠区植被呈微弱下降趋势。

也有部分学者,利用后期计算获得的 NDVI,探讨了采矿扰动下非自然生态区植被生态变化。王广军等^[6]利用 Landsat5 TM 插值生成三个时相 NDVI,研究了霍林河露天煤矿区 16 a (1987-2003)煤炭开发对草地的影响,认为矿业建设与重度荒漠化高度相关;吴立新等^[7]利用 SPOT-4/5 NDVI 遥感数据,结果表明神东矿区 10 a 来(1999-2008)植被覆盖指数值整体呈增加趋势,认为矿区的生态环境治理成效显著;SONWALKAR M 等^[8]利用 MODIS NDVI 研究 6 a 期(2000-2006)铅锌矿酸性废水排放对生态环境的影响;马超等^[9]利用七个时相 SPOT-2/4 数据,分析了潞安矿区九个工作面开采前后 4 a 间(2004-2007)植被指数的时空变化,认为工作面开采前后 NDVI 的短临变化与煤炭开采正相关。

上述非自然生态区 NDVI 的变化研究,存在一些问题:时间序列短,不足以涵盖采矿前、采矿中和采矿后期;覆盖范围小,不足以覆盖直接影响区、间接影响区、非影响区;时相不统一,时相归一化插值算法可靠性差,植被月际、季节、年际动态变化表征能力弱;此外数据预处理复杂,易于引入数据处理误差等。

本文拟借助 AVHRR NDVI 扩展数据集^[10]的优势,结合神东矿区高密度井田、高强度开采特点,分析在生长层受到开采损伤的情况下,西部脆弱生态区受迫植被退化机理,旨在发现采矿与复垦活动对自然生态的扰动与植被生态系统演化的时空关系,为脆弱生态环境保护与生态重建提供一定的科学依据。

2 研究区与研究数据

2.1 研究区

神东矿区位于陕西省神木县、府谷县及内蒙古自治区伊金霍洛旗、准格尔旗,其北为毛乌素沙漠,南为黄土高原,属农牧交错带,半干旱-干旱过渡带,该区属于鄂尔多斯沉降构造盆地的中部,地表侵蚀强烈,水土流失严重,局部地区基岩裸露,是典型的丘陵沟壑区。神东矿区植被覆盖率低,干旱缺水,抗扰动能力差,因此对矿区的生态环境进行监测很有必要。

2.2 研究数据与预处理

本文的 NDVI 数据源于中国西部环境与生态科学数据中心(<http://westdc.westgis.ac.cn>)的 GIMMS (Global Inventory Modeling and Mapping Studies) AVHRR NDVI 扩展数据集。该 NDVI 数据的时间分辨率为 15 d,空间分辨率为 8 km^[11]。GIMMS 的原始数据源于 6 颗 NOAA 卫星,分别是 NOAA-7, NOAA-9, NOAA-11, NOAA-14, NOAA-16, NOAA-17, 经过辐射校正和几何粗校正的 NOAA-AVHRR,再进一步对每日、每轨图像进行几何精校正、除坏线、除云等处理,进而进行 NDVI 计算及合成。计算公式为 $NDVI=1000 \times (b_2 - b_1) / (b_2 + b_1)$,其中 b_1, b_2 为 AVHRR 的第 1、2 通道。计算完成后对结果影像两两比较,获得 NDVI 半月合成的最大值作为最终结果,故 26a 涵盖了 624 期半月合成的 NDVI 影像。NDVI 值的范围为-1~1,负值表示地面覆盖为水体等,0 表示地面覆盖为裸土等,0~1 表示地面有植被覆盖。

矢量数据来源于 1:400 万的全国省级行政区、县级行政区域地图。在 Arcgis 中对 1:400 万的全国省级行政区与县级行政区域地图进行数据转化与提取,建立半径为 20 km 的缓冲区,得到缓冲区的矢量图。

GIMMS AVHRR NDVI 数据集覆盖中国,蒙古,尼泊尔,缅甸,部分印度等地区。本文分析的是

鄂尔多斯地区与榆林地区内的矿区与缓冲区,采集了 GIMMS AVHRR NDVI 长时序数据集中的 146 个像元,其中神东矿区位于乌兰木伦河谷主矿子集 39 像元,缓冲区子集 107 像元;根据数据空间分辨率,换算成面积,总覆盖面积为 9 344 km²,其中矿区面积 2 496 km²,缓冲区面积 6 848 km²。分别用神东矿区,缓冲区矢量数据对 GIMMS AVHRR NDVI 数据集进行裁剪,由于裁剪后影像背景值的存在,不利于进行统计分析,对裁剪的影像进行掩膜处理。

3 研究方法

3.1 数据合成

通行的方法主要有累加处理、平均值处理与最大值处理。累加处理是将分析某时间段内的 NDVI 值求和,可反映植被在这一时间段内的生物积累量;平均值处理是将分析某时间段内的 NDVI 值取平均值,这种方法可消除气候异常对植被 NDVI 值的影响;最大值处理消除了云、雾等自然条件对 NDVI 值的影响,是将分析某时间段内的 NDVI 值取最大值进行分析。

因不同矿区的地理位置不同,遥感数据的合成方法也不同。矿区所在区域的降水量、气温、干湿状况以及作物生长期等条件决定合成方法的选择。对于自然条件恶劣、生态环境脆弱的干旱半干旱的西北矿区(如神东矿区),为突出植被覆盖状况,可取全年 NDVI 的最大值;对于自然条件一般、植被生长季不到一年的半湿润地区矿区(如抚顺矿区),可取植被生长季内的累加值;对于自然条件优越、全年都有植被覆盖的湿润矿区(如淮南矿区),可取全年 NDVI 的平均值^[12]。

西北地区年降水 50~400 mm,亩均占有水资源远低于全国平均水平;水资源严重匮乏,植被覆盖率低,主要为草原、荒漠、沙漠和戈壁,风蚀荒漠化严重;抗扰动能力差,生态阈值低,自我修复能力差,生态环境脆弱,可用最大值处理方法取年 NDVI 最大值进行分析。本文是将每年的 24 幅遥感影像进行最大值合成,得到 26 幅年最大 NDVI 值的遥感影像,代表 26 a 植被覆盖状况。

3.2 变化趋势分析

Stow 等用采用一元线性回归来计算植被的绿色变化率 (Greenness Rate of Change,GRC),GRC 被定义为某时间段内的季节合成 NDVI 年际变化的

一元线性回归方程的斜率^[13]。其实质是最小二乘拟合,使数据各个 x_i 处因变量在直线上的拟合值与观测值的误差尽量小,其斜率计算公式如下:

$$\text{slope} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

其中 x_i 为自变量, $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$, $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$, y_i 为因变量。

这样每个像素均形成了 26 a 的 NDVI 时间序列。直线的斜率揭示了在一定时间内,该像素所代表该地区植被指数的变化趋势。slope>0,表明该像素代表的区域植被状况向好的方面发展,反之则是植被状况变差^[13]。根据 NDVI 一元线性回归直线斜率,将变化程度分为 7 级^[14]如表 1 所示。

表 1 NDVI 变化趋势分级标准

| 变化程度 | 严重退化 | 中度退化 | 轻度退化 | 基本不变 | 轻微改善 | 中度改善 | 明显改善 |
|------------|----------|----------------|-----------------|----------------|---------------|---------------|---------|
| 回归直线斜率,GRC | <-0.0090 | -0.0090~0.0046 | -0.0045~-0.0010 | -0.0009~0.0009 | 0.0010~0.0045 | 0.0046~0.0090 | >0.0090 |

4 结果与分析

4.1 神东矿区年际 NDVI 变化分析

去掉后备区,数据处理得到了矿区每年 NDVI 最大值遥感图像,统计分析 26 a 的年度 NDVI 最大值的图像,可以得到 26 a 矿区 NDVI 平均值(见表 2),对 26 个数据进行一元线性回归分析,可以得到 NDVI 年际变化趋势。如图 1 所示,回归直线的斜率为正,说明 26 a 间植被状况向好的趋势发展。

表 2 神东矿区 26 a 的 NDVI 年均值

| 年份 | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| NDVI | 0.21679 | 0.19908 | 0.22974 | 0.24767 | 0.21021 | 0.25169 | 0.26179 | 0.31882 | 0.25085 | 0.27254 | 0.26908 | 0.27221 | 0.25821 |
| 年份 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 |
| NDVI | 0.33405 | 0.27833 | 0.3021 | 0.28495 | 0.32377 | 0.25495 | 0.30328 | 0.24151 | 0.33554 | 0.35082 | 0.34820 | 0.32823 | 0.35179 |

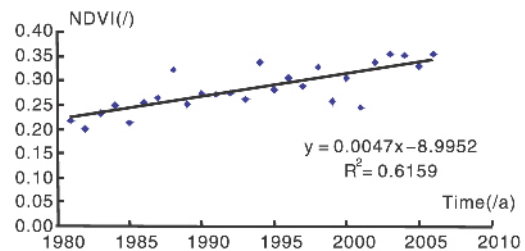


图 1 神东矿区 NDVI 年均值变化趋势

由图 1 可以看出神东矿区 NDVI 值呈递增的发展趋势,按照表一回归直线斜率所反映的变化程度,神东矿区植被得到了中度改善。由图可以看

出 1985–1988 年 NDVI 值增幅较大,1994–2001 年 NDVI 值减幅较大,2002–2006 年 NDVI 值相对较高,但增幅较小。

4.2 缓冲区与矿区年际 NDVI 值相关分析

缓冲区分析就是解决一个临近度的问题,如受到胁迫的敏感区域,公共设施的服务范围等。为了检测矿区对周边植被的影响,本文设置了半径为 20 km 的矿区缓冲区,建立面目标缓冲区的原理是以面的边界线为轴线,以缓冲距为平移量向边界线的外侧作平行曲线。同理可得 26 a 缓冲区 NDVI 平均值,见表 3。

表 3 缓冲区 26 a 的 NDVI 年均值

| 年份 | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| NDVI | 0.24303 | 0.22470 | 0.25115 | 0.28328 | 0.22729 | 0.26969 | 0.27624 | 0.33491 | 0.27022 | 0.29327 | 0.28017 | 0.29605 | 0.28731 |
| 年份 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 |
| NDVI | 0.36001 | 0.30831 | 0.34214 | 0.31244 | 0.35215 | 0.27415 | 0.31975 | 0.26221 | 0.35185 | 0.35663 | 0.33546 | 0.33997 | 0.34979 |

缓冲区的 NDVI 值呈上升趋势,同年的神东矿区 NDVI 值与缓冲区的 NDVI 值差别不大(图 2)。本文采用 Pearson 相关系数分析神东矿区与缓冲区 NDVI 的相关性,Pearson 相关系数可以定量的衡量变量之间的相关关系^[15]。对两组数据进行相关分析,得出神东矿区 NDVI 值与缓冲区 NDVI 值两组变量在 0.01 水平上显著相关,相关系数为 0.971。

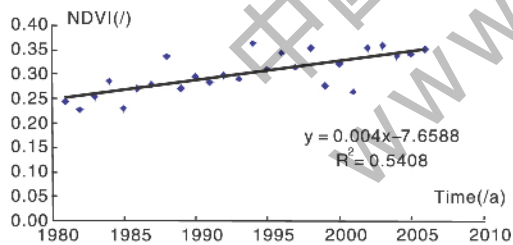


图 2 缓冲区 NDVI 年均值变化趋势

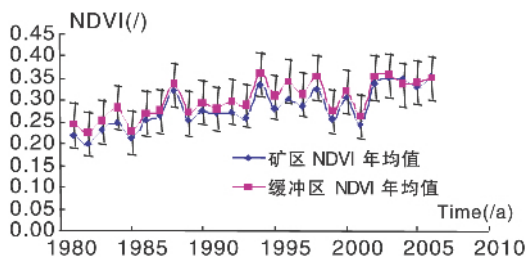


图 3 神东矿区与缓冲区 NDVI 均值误差曲线

图 3 为神东矿区与缓冲区 NDVI 均值误差曲线,可以看出神东矿区与缓冲区 NDVI 变化走向几乎相同,两组数据高度相关,两组数据总体都呈上升的趋势。与此相关的矿区景观格局分析表明,

矿区开发并未改变矿区土地覆盖、景观结构的支配类型^[16]。

4.3 像元级线性回归分析

本文所采用的遥感数据分辨率为 8 km,矿区去后备区的区域为 39 个像元,利用一元线性回归分析对 39 个像元进行趋势分析。根据(式 1)统计变化趋势,并得到变化程度所占百分比,见表 4,轻微改善与中度改善各占 35.90%与 64.10%,说明矿区的植被状况呈良好趋势发展,植被中度改善的区域占矿区大部,中度改善的区域集中在矿区的北部。

表 4 NDVI 变化趋势各等级的比例

| 变化趋势 | 严重退化 | 中度退化 | 轻微退化 | 基本不变 | 轻微改善 | 中度改善 | 明显改善 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 比例/% | 0 | 0 | 0 | 0 | 35.9 | 64.1 | 0 |

4.4 趋势变化的成因分析

26 a 来神东矿区植被覆盖状况整体改善,神东矿区 NDVI 变化趋势由图 1 可以看出 1994–2001 年 NDVI 减幅较大,因为这期间出现了历史罕见的干旱情况,导致这期间的 NDVI 值下降比较明显,此期间,内蒙古年平均降水量总体呈波动中缓慢下降的趋势,20 世纪 80 年代平均降水量为 248.4 mm,90 年代为相对丰水时期,平均降水量达 251.4 mm,进入 21 世纪后,全区降水量呈明显的下降趋势,1998 年为降水量最多的年份,为 359.8 mm,2001 年为最低大约为 175 mm^[17]。2002 年以后,随着降雨量的恢复,达到年均降水量 230 mm,NDVI 值也明显上升,植被覆盖情况恢复比较明显,国家实施的退耕还林还草等政策也是植被覆盖趋向良好的一个重要原因。

5 讨论

通过较大时空跨度的非自然生态区植被指数变化趋势研究,一定程度上反映了区域生态变化的统计规律。神东矿区及缓冲区的相关分析表明,两类区域 NDVI 信息高度相关,NDVI 均值整体呈上升趋势;矿区植被状况分属于中度改善与轻微改善,区内植被状况呈向好趋势,矿区生态环境治理工作成效明显。

研究发现,仍然有些问题值得深入探讨:

(1)两类区域 NDVI 总量存在偏差是个事实,在长达 26 a 的 NDVI 时间序列中,神东矿区的 NDVI 年均值绝大多数年份小于缓冲区,26 a 的

NDVI 年均值总和为 7.2962,缓冲区 26 a 的 NDVI 年均值总和为 7.8022,区内 NDVI 总量比缓冲区低约 6.5%,有待后续研究深入分析。

(2)实际扰动面积与开发程度有关,两类区域的选择是个动态问题,26 a 的数据涵盖了神东矿区建设起步阶段(1986-1988年),高产高效探索阶段(1989-1998年),跨越式发展的部分阶段(1998年-2009年),矿区从无到有,区域原煤产量由千万吨/a 级提升至亿吨/a 级。依据存档数据土地利用分类结果,根据矿区扩张情况具体设定缓冲区将更为合理。

(3)神东矿区地处西北干旱区,生态脆弱,高强度开采对原生植被的生长环境造成巨大破坏,退耕还林还草,种草植树,土地复垦等人为干预对生物量提高短期作用明显,但原生植被的生存状况,后期引入植被的适应性等有赖长期野外观测及科学实验提供实证。

(4)由于目前对内蒙古地区各气象站的气象数据收集不足,尚不能确定气候变化对神东矿区 NDVI 演化的贡献,这方面的研究正在继续。

参考文献

- [1]杜加强,舒俭民,王跃辉,等.青藏高原 MODIS NDVI 与 GIMMS NDVI 的对比[J].应用生态学报,2014,25(2):533-544.
- [2]Scott J. Goetz, Gregory J. Fiske, Andrew G. Bunn. Using satellite time-series data sets to analyze fire disturbance and forest recovery across Canada [J]. Remote sensing of environment, 2006, 101(3):352-365.
- [3]De Jong R, de Bruin S, de Wit A, et al. Analysis of monotonic greening and browning trends from global NDVI time-series[J]. Remote Sensing of Environment, 2011, 115(2):692-702.
- [4]姚雪茹,刘华民,裴浩,王立新.鄂尔多斯高原 1982-2006 年植被

变化及其驱动因子[J].水土保持通报,2012,32(3):225-230.

[5]王强,张勃,戴声佩,邹悦,马中华,张亚宁.基于 GIMMSAVHRRNDVI 数据的三北防护林工程区植被覆盖动态变化[J].资源科学,2011,33(8):1613-1620.

[6]王广军,胡振琪,杜海清,杜明义,陈秋计.采矿扰动下草地荒漠化的遥感分析--以霍林河露天煤矿区为例[J].遥感学报,2006,10(6):917-925.

[7]吴立新,马保东,刘善军.基于 SPOT 卫星 NDVI 数据的神东矿区植被覆盖动态变化分析[J].煤炭学报,2009,34(9):1217-1222.

[8]Mukul Sonwalkar, Li Fang, Donglian Sun. Use of NDVI dataset for a GIS based analysis: A sample study of TAR Creek superfund site [J]. Ecological Informatics, 2010, 5(6):484-491.

[9]马超,张晓克,郭增长,吴立新.半干旱山区采矿扰动植被指数时空变化规律[J].环境科学研究,2013,26(7):751-759

[10]Tucker C. J. Pinzon J. E. Brown M. E. et al. An extended AVHRR 8-km NDVI dataset compatible with MODIS and SPOT vegetation NDVI data [J]. Remote Sensing of environment, 2005, 26(20):4485-4498.

[11]Tucker C. J. Pinzon J. E. Brown M. E. Global Inventory Modeling and Mapping Studies[D]. University of Maryland, Maryland:1994,4.

[12]马明国,王建,王雪梅.基于遥感的植被年际变化及其与气候关系研究进展[J].遥感学报,2006,10(3):421-431.

[13]Douglas A. Stow, Allen Hope, David Verbyla, Fred Huemmrich, Charles Racine, Kenneth Tape, Kenji Yoshikawa, Brian Noyle, David Douglas, Gensuo Jia, Donald Walker, Aaron Petersen, Ranga Myneni. Remote sensing of vegetation and land-cover change in Arctic Tundra Ecosystems [J]. Remote sensing of environment, 2004, 89(3):281-308.

[14]李震,阎福礼,范湘涛.中国西北地区 NDVI 变化及其与温度和降水的关系[J].遥感学报,2005,9(3):308-313.

[15]张宇镭,党琰,贺平安.利用 Pearson 相关系数定量分析生物亲缘关系[J].计算机工程与应用,2005,33(2):79-82.

[16]程水英,周育红.开发神东矿区对生态环境的影响[J].洁净煤技术,2010,16(6):67-69.

[17]包刚,吴琼,等.近 30 年内蒙古气温和降水量变化分析[J].内蒙古师范大学学报,2012,41(6):668-674.

(上接第 19 页)

呈现先缓慢升高,后快速升高的趋势,COD_{Cr}去除率先缓慢上升后趋于稳定,运行到 48 h 后出现较快下降,滤池的运行周期确定为 48 h;

(2)采用负压脉冲方式反冲洗曝气生物滤池,平均水力反冲洗强度可达到 26.25 L/(m²/s),连续 5 次负压反冲洗可实现滤床的更新,反冲洗速度梯度、反冲洗所需水量及水冲洗时间分别为 649.4 s⁻¹、43.4 L 和 169 s,试验给定水力负荷下的反冲洗(含漂洗)耗水率为 1.45%,该值远低于一般曝

气生物滤池 2~3%;

(3)采用定时控制与压差控制能实现曝气生物滤池自动反冲洗。

参考文献

- [1]张杰,陈秀荣.曝气生物滤池反冲洗的特性.环境科学,2003(9),86-91.
- [2]张俊贞,邓彩玲,安鼎年.滤池气水反冲洗的数学模型.中国给水排水,13(3):10-13.
- [3]徐勇鹏,王在刚,崔福义.滤池反冲洗时间控制模式的分析与优化.中国给水排水,22(1):66-69.