

ArcGIS 辅助建筑物阴影分析

程德强,赵牡丹*,张倩,冯园

西北大学城市与环境学院, 陕西 西安 710127

摘要: 本文以简单单栋建筑物作为研究对象,在 ArcGIS10.1 环境下,对由于建筑物遮挡而产生的阴影,结合日照分析原理,使用相关阴影分析工具实现对建筑物阴影遮盖区域阴影时长的求解,对相关时刻进行阴影的模拟,并使用 Model Builder 完成了通用模型的构建,从而扩展了 ArcGIS 的阴影分析功能。本研究结果不仅可以为植被绿化提供科学的依据,同时还将为建筑物空间结构优化提供一定参考。

关键词: ArcGIS; Model Builder; 阴影模拟; 空间分析

中图分类号: P90

文献标识码: A

文章编号: 1000-2324(2015)03-0403-05

The Analysis on the Shadow of Building With the ArcGIS

CHENG De-qiang, ZHAO Mu-dan*, ZHANG Qian, FENG Yuan

College of Urban and Environmental Science, Northwest University, Xi'an 710127, China

Abstract: Using a single building as the research object in ArcGIS10.1, the shadow will be created and calculated with the help of sunshine analysis theory and shadow analysis tools. The shadow of certain time can be simulated as well. Models which can be used universally are made in Model Builder, and it extends the ArcGIS shadow analysis function. The research results can help to provide the scientific basis for greening and a reference for optimizing the structure of buildings.

Keywords: ArcGIS; Model Builder; shadow simulation; spatial analysis

阴影与人类的生产与生活密切相关,对阴影的研究有其现实实用意义。在计算机技术尚未出现以及普及之前,建筑师只能凭借以往的相关经验,感觉预测光照环境,进而通过繁杂的手工计算,绘制得到手工棒影图和日影图等,该种研究建筑物阴影的方法在费时耗工的同时,也制约着阴影研究的精度与效率。计算机技术的快速发展,促进了计算机技术在建筑物阴影模拟相关方面的应用研究,为阴影的分析带来了一场革命,通过计算机强大的数值计算与图像处理能力,可以实现对阴影模拟的快捷、高效、直观展示。

国外对日照阴影问题的研究历来比较重视,因此制定出台了相应的法律法规,研发了许多可以进行日照及阴影分析的专业软件或在其他软件上进行了此方面功能的扩展,相关产品如 Water Slade 公司日照阴影分析软件^[1], Ecotect 绿色建筑分析及辅助设计软件等,许多优秀的三维制作软件如 3ds max、SketchUp 等也提供了阴影模拟分析的辅助功能,而在 GIS 产品领域,诸如 ArcGIS、Skyline 等功能强大的 GIS 专业软件在日照阴影模拟分析方面的功能也日益强大。国内,应用较多的是基于 CAD 软件开发的日照阴影分析软件,这些软件一般基于二维 CAD^[2]进行实现,如众智 SUN 日照分析软件、THSEA 日照环境分析系统、联图日照分析软件、HYSA 城市规划日照分析软件、天正软件日照分析模块^[1]、飞时达日照分析计算软件 FastSUN、湘源控规日照分析模块,这些软件各有特点,但基本功能基本一致,国内所采用的日照分析软件,大部分是基于 AutoCAD 的二次开发来实现的,是对 AutoCAD 生成的矢量文档.dxf 的分析,分析过程依赖于 AutoCAD 的建模功能,只有少数分析软件可以脱离 AutoCAD 平台^[3]。

1 研究思路

上文中提及的众多日照阴影分析软件基本都可以实现对相关地理实体对象的阴影分析,操作方便,并通过报表的方式输出分析结果,实用性强,基本能解决实际需要,但是,也不得不认识到,这些独立的专业分析软件,往往也存在自身的局限性,即这些软件对阴影的求解往往是某一时刻阴影的投射状态或者某一点上受到光照的开始时刻与结束时刻,但对于相关分析中实现阴影时长的面状分布往往忽略,同时,基于 CAD 开发的相关阴影分析软件往往不具备 GIS 技术所具有的多源数

收稿日期: 2014-08-11

修回日期: 2014-11-19

作者简介: 程德强(1990-),男,硕士研究生,主要从事 GIS 空间分析. E-mail:381643318@qq.com

***通讯作者:** Author for correspondence. E-mail:zmudan@nwu.edu.cn

据整合、管理以及强大的空间分析功能,从而在一定程度上限制对阴影的进一步分析与应用。

ArcGIS 作为 GIS 领域最优秀的软件代表之一,它的三维分析模块通过与其他模块结合,能够为三维地理问题分析和解决提供相关可行方案,虽然其三维分析功能仍主要停留在 2.5 维水平,但却已基本反映三维 GIS 的最新研究成果,具有完备性、集成性和兼容性,从而使之成为目前进行地理数据三维分析的最佳选择之一^[4],此外,Model Builder 作为 ESRI 公司研发的 ArcGIS 模型生成器,提供了一个图形化的操作环境,可以在其中创建及修改模型^[5],具有简化繁琐工作,提高处理效率,结果客观等优点^[6],十分适合应用于对批量数据的处理。

在综合考虑相关阴影分析软件的特点与局限性的基础上,本文的研究在于通过使用 ArcGIS10.1 的相关阴影分析工具,在 Model Builder 中构建相关数据处理模型,实现在 GIS 环境下对阴影的模拟与阴影时长的定量自动求取,并对相关时刻阴影进行模拟再现,从而实现对不同地点阴影时长的直观认识。

2 阴影分析涉及的相关概念

2.1 太阳高度角与太阳方位角

太阳在天空中的位置可以用太阳高度角与太阳方位角进行表示,太阳的高度角及方位角与研究区地理位置、观测时间密切相关。其中太阳高度角是指地面上某点与太阳的连线与地平面之间相交所形成的夹角,其值在 0°到 90°之间变化,而太阳方位角指的是太阳与地面上某点的连线在地面上形成的投影与正南方向的夹角,正南方向为 0°,逆时针方向为负,顺时针方向为正,在正北方向时方位角可以为 180°或-180°^[3]。

2.2 日出及日落时间

地球自转给人的直接印象是太阳的东升西落,日出及日落时间将决定日照时间的长短,本文中,将采用天文学意义上对日出日落时刻的定义,即在地面上所见的日面上边缘与地平线相切的时刻作为日出日落时刻。

对日出日落时刻的确定,是根据在日出日落时太阳高度角为 0°这一条件,根据相关公式进行计算确定的,依据杨晚生^[7]在其所著《环境建筑学》中关于太阳高度角与太阳方位角的计算,对相关公式进行整理后,在将太阳高度角假设为 0°的条件下,得到关于日出日落时间的求取公式:

$$S = \frac{\arccos(-\tan \varphi \tan d)}{15} + 12 \quad (1)$$

$$d = 23.45 \times \sin \left[\left(\frac{N - 80}{370} \right) \times 360 \right] \quad (2)$$

上式中,S 为当地真太阳时,单位为小时 (h); φ 为地理纬度,单位为度 (°); d 为赤纬,单位为度 (°),对于赤纬的计算,本文采用 Peter.lumde 所提出的一年中逐日赤纬的粗略计算公式 (公式 2); N 为从 1 月 1 日起开始计算的天数,单位为天。

3 ArcGIS 软件中的阴影分析工具简介

在 ArcGIS10.1 版本之前的版本中,已经出现关于阴影分析的山体阴影工具,该工具的作用是通过考虑照明源的角度和阴影,其作用只是根据表面栅格创建地貌晕渲。在 2012 年 Esri 公司对外发布的 ArcGIS10.1 软件中,3D Analyst 工具箱的可见性工具集下首次出现了太阳阴影体工具,其功能是利用每个输入要素,在给定日期和时间的光照条件下,通过所投射出的阴影来创建模型。因该工具出现时间不长,在相关文章与应用出现较少,如何利用该工具,并对该工具进行更进一步的功能开发将对后续的文章与应用提供相关借鉴。

查阅相关资料后,可知该工具具有以下特点:

- 1) 输入要素可以是拉伸 3D 图层或是多面体要素,从而保障了数据输入的多元性,尤其是多面体要素,可以通过其他软件构建然后导入 ArcGIS 中进行应用。

- 2) 在仅提供日期的条件下, 可进行日出和日落阴影计算, 日出与日落时间可以通过属性表进行查看, 其中起始日期与时间是必填项, 结束日期与时间是可选项, 在仅输入起始日期的条件下, 只生成当日日出阴影体;
- 3) 所有输入要素都应位于相同的区域内;
- 4) 如果太阳在给定日期和时间不可见, 或太阳的相对位置与输入要素成 90 度直角, 则不会创建阴影体;
- 5) 所生成太阳阴影体为一个闭合的多面体, 且同一建筑物的太阳阴影体会交叠在一起;
- 6) 阴影体始终始于垂直平面并止于垂直平面, 两个平面和太阳光方向的水平投影相垂直;
- 7) 太阳阴影体要素类属性中, DATE_TIME 字段用于计算太阳位置的当地日期和时间, AZIMUTH 字段为太阳方位角, VERT_ANGLE 字段为太阳高度角。

由上文表述可知, 该工具的作用是生成一定时间间隔下的太阳阴影体, 该阴影体可以在 ArcScene 或 ArcGlobe 中进行展示, 因此如何利用该工具实现阴影时长的定量求取, 实现有视觉感知到量化的数值获取是本文研究的重点。

4 单日建筑物阴影时长定量求取

4.1 单日建筑物阴影时长定量求取的分步实施

4.1.1 对太阳阴影体工具的简单检验 因太阳阴影体工具在 ArcGIS10.1 中首次出现, 相关文章与应用提及较少, 为确认工具可靠性, 需要对该工具进行相关的验证, 笔者通过对比人工对日出日落时间的求取与通过在仅输入日期运行该工具得到的日出日落时间进行对比来达到对工具可靠性检验的目的。

本文选取 2014 年的夏至日 (6 月 21 日) 进行相关验证, 根据上文中提及的公式, 确定相关参数 (研究区纬度 φ 为 34.145° 、N 值为 172) 计算得到了研究区日出当地真太阳时时间为 $S_{\text{日出}}=4.859$ 点时, 日落当地真太阳时时间为 $S_{\text{日落}}=19.141$ 点时。

因 ArcGIS 相关阴影工具所输入的时间为北京时间, 因此有必要确定当地真太阳时与北京时间的换算关系, 依据相关文献^[7], 在已知研究区所处经度为 108.87°E , 时区属于东七区, 时区中心线为 105°E , 并依据文献中提供的相关公式求得该日平均时差为 -0.0481 h 的条件下, 确定了当地真太阳时与地区标准时间、地区标准时间与北京时间之间的关系, 经整理获得了研究区该日当地真太阳时与北京时间换算关系:

$$H_{\text{北京时间}}=H+0.7901 \quad (3)$$

从而求得相对应的日出日落北京时间:

$$H_{\text{日出北京时间}}=5.6491$$

$$H_{\text{日落北京时间}}=19.9311$$

上述太阳日出日落时间均是通过上文中所提及的相关公式计算求得的, 具有一定的科学性, 通过使用“太阳阴影体”工具在仅输入日期的情况下, 生成了日出与日落时刻的太阳阴影体, 通过查看其属性, 通过软件计算获得的日出时间为 5 时 37 分 37 秒, 日落时间为 19 时 54 分 50 秒, 比较公式求取时间与软件生成的时间后, 两者差异性不大, 同时对于 ArcGIS 文档中对 DATE_TIME 字段的理解, 即“用于计算太阳位置的当地日期和时间”中的“当地日期和时间”应理解为当地所用的日期与时间, 非当地真太阳时时间。在分析人工计算日出日落时间与软件计算日出日落时间两者的差异上, 认为可能主要是在人工求取日出日落时间时使用了平均时差造成的, 使人工计算结果出现了一定偏差, 通过上述比较后一定程度上验证了该工具的科学性与可靠性。

4.1.2 三维建筑简单模型的构建 以经过配准的高分辨率遥感影像作为底图, 选取校区内某单体建筑所在位置作为模型构建的位置, 模型的底面轮廓通过该栋建筑物的底面轮廓进行确定, 以便在本研究中所构建的建筑物能够更好地在建筑物朝向上接近真实建筑物, 通过拉伸的方式构建 30 m 高的建筑物模型。在实际应用中, 在构建建筑物时, 若所研究建筑物构造相对复杂, 可以采用在 Sketchup

等三维模型制作软件中进行建模然后导入 ArcScene 中的方法^[8]。

4.1.3 太阳阴影体求取 依据上文中所求取的夏至日日出日落时间，将其转换为时分秒格式后，在 ArcScene 中，使用太阳阴影体工具，对阴影进行模拟，起始日期设定为经过计算获得的 2014 年 6 月 21 日 5 时 38 分 57 秒，结束时间为当日的 19 时 55 分 51 秒，上述时间均为北京时间，迭代时间间隔在经过多次试验后，在考虑精度与效率的前提下，选取 2 min 作为迭代时间间隔，生成太阳阴影体。

4.1.4 二维阴影覆盖面的生成 通过太阳阴影体工具获得的建筑物投射阴影是以多面体进行呈现的，并不具备有可量测性，只是在每一迭代时刻会生成一个多面体，仅仅表现为视觉上的直观性，但并不能给出定量的表示，因此在参考有关投影的相关思想的基础上，可以将阴影体进行投射，但是在不同高度上所得到的阴影投射面是不同的，鉴于此，通过拉伸一个二维矢量平面（命名为“大地平面”），并将其拉伸成高度为 0.001 m 的三维模型，通过“3D 图层转要素类”工具转换成多面体要素，构建一厚度为 0.001 m 的“大地体”，再使用“3D 相交”工具，产生一厚度为 0.001 m 的相交体，最后使用“多面体覆盖区”工具实现二维覆盖面的生成，从而实现了三维结果向二维结果的转变。

4.1.5 字段添加与赋值 通过上一步的操作，完成了从三维向二维转变的过程，但在这一转变中，在构建太阳阴影体时所设置的时间间隔并没有体现出来，通过对阴影覆盖面要素添加短整型“分钟”字段，并赋值为 2，完成时间间隔的属性表现。

4.1.6 阴影覆盖面分离 上步操作结束后生成的覆盖区要素类包含 429 个要素，且相互叠压在一起，为保证后续实验顺利进行，需要将这 429 个工具分别抽离成独立要素，若采用手工的方法，工作量过于庞大，因此需要通过迭代功能实现要素分离，在使用迭代功能对各独立要素进行提取时所依靠的是其本身所带有的默认字段 OID 字段。

4.1.7 矢栅转换 抽离的各要素独立存放，通过“要素转栅格”工具，在设定像元大小为 0.5 m，转换属性设置为分钟字段，完成矢栅转换。

4.1.8 建筑物周边阴影时长图的获取 将矢栅转换得到的所有栅格文件，通过“像元统计数据”工具，进行“总和”的叠加统计，最终生成 1 d 内建筑物对太阳光的遮挡产生阴影而生成的各位置阴影时长（分钟）的累计栅格，为便于对阴影时长的直观认识，采取将栅格转为浮点型并除以 60 的方法，将时间累计栅格的单位变为小时。选择了最邻近像元法构建影像金字塔，使其表面自然过渡^[9]，通过查询工具，可查询栅格影像灰度值，其值大小即为该点阴影时长值。

4.1.9 建筑物阴影的时态模拟 通过上文中的多个步骤，实现了对建筑物周边阴影时长的直观认识，为了对建筑物阴影的遮盖情况有一个形象化的认识，通过对使用“太阳阴影体”工具生成的阴影体启用图层属性中时间选项卡的时态功能，使该图层可作为时态数据使用，使用时间滑块工具，实现了对不同时间点对阴影的时态模拟，根据需要，也可以制作相应的三维动画以提供直观逼真动态的可视化效果^[10]。



图 1 不同时刻阴影展示
Fig.1 Shadow show at different times

4.2 建筑物阴影时长定量求取的通用模型构建

上文中对阴影时长的求取各步骤实施较为分散，考虑到模型工具的通用性，通过 Model Builder

工具对上述各过程进行整合,针对单日阴影时长的求取,构造了“建筑物单日太阳阴影体求取”、“建筑物周边单日阴影时长求取”两个模型,其特点如下:

1) 在仅输入日期条件下,能够在设定的时间间隔条件下,生成太阳阴影体,改进了原太阳阴影体工具在仅有日期条件下只能生日出与日落两个阴影体的限制,模型的内部开始时间与结束时间均有太阳阴影体生成并进行反馈。

2) 时间间隔直接设定为小时,并保证和最终输出结果也以小时为单位进行展示,保证了结果的一致性。

3) 鉴于覆盖面过多的情况,通过将迭代工具与收集器工具进行组合,降低了繁杂的手工输入,提高了整体操作的自动化。

4) 根据相关提示进行参数的相关输入,保证了模型输入参数的简单化,提高了模型的复用性,易于模型的推广与应用。



图2 模型参数输入界面

Fig.2 Model parameter input interface

5 结语

本文通过合理的技术路线,实现了在 ArcGIS 下对单日建筑物阴影时长的量化计算,依据生成的结果可以通过识别工具获得相应的阴影时长值,并在 Model Builder 中实现了通用模型的构建,并通过减少相关参数,保证了模型的简单易用性,扩展了 ArcGIS 的阴影分析功能。本文虽只对单栋建筑物的单日阴影进行了相关分析,但借助上述技术路线,对于大范围的多栋复杂建筑物更长时间尺度的阴影分析也是可以通过相关模型的改进与参数调整来实现的。在本次建筑物阴影时长计算过程中,还存在一些不完善的地方,例如由于条件的限制,笔者只能从理论与思路方法上对阴影时长的求取进行论述,模型的正确性的高低还需要后续在实际使用中进行相关验证,笔者希望通过本文的相关研究,推动阴影在相关领域更广泛的研究。

参考文献

- [1] 李黎.基于三维GIS的建筑物日照分析研究[D].西安:西安科技大学,2011
- [2] 张颖.基于三维城市模型的日照分析研究[D].武汉:武汉大学,2005
- [3] 倪剑龙.建筑日照分析与仿真系统的设计与实现[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2009
- [4] 孙轩,吴华意.ArcGIS的三维分析模块的分析与探讨[J].地理空间信息,2008,6(2):65-68
- [5] 罗鹏,石军南,孙华.基于GIS空间模型的库区生态敏感性评价研究[J].水土保持研究,2007,14(2):255-258
- [6] 周扬,李潇丽,吴文祥,等.基于Model Builder的库区生态敏感性分析[J].安徽农业科学,2009,37(29):14272-14275
- [7] 杨晚生.建筑环境学[M].武汉:华中科技大学出版社,2009:7-11
- [8] 吴萍莉.基于ArcGIS的三维建筑日照时态模拟[J].地理空间信息,2012,10(6):94-96
- [9] 马震,王玉丽.ArcGIS三维可视技术在山区水库库盘选址中的应用[J].内陆地震,2011,25(3):269-274
- [10] 贾晋太.ArcGIS中制作三维动画的方法[J].华北国土资源,2009(2):51-53