

# 面向文物建筑保护修缮需求的正射图 图示化解析技术与方法研究<sup>#</sup>

## Research on the Technology and Method of Orthographic Graphical Analysis Oriented to the Needs of Cultural Relics Protection and Repair

李宁<sup>1\*</sup> 王翌翔<sup>1</sup> 王靖淞<sup>2</sup>

1 北京工业大学北京市历史建筑保护工程技术研究中心

2 第四范式(北京)技术有限公司

**# 基金项目:** 北京市教育委员会科技计划一般项目: 面向北京市文物建筑保护修缮需求的点云图示化解析技术与方法研究(KM202010005023)支持。

**【摘要】** 习近平总书记强调:“历史文化是城市的灵魂,要像爱惜自己的生命一样保护好城市历史文化遗产。”国家重大文物保护工作是当今社会的“刚需”,此工作“功在当代、利在千秋”。文物基础资料尤其是正射矢量文件的存留是开展一切工作的基础。正射图是在数字化扫描技术基础上得到的,可以快速获得照片一般的色彩细节和工程图精度的正确投影关系。这种从逆向数据直接获取的图纸所包含的信息及研究价值是现阶段传统测绘图所不具备的。但是此正射图的数字化储存在技术瓶颈——即无法准确形成可交流、可识别的二维矢量线条图纸。“如何将解析正射图使之成为矢量文件”现已成为限制本行业的关键问题,当前采取的人工描绘的方法既浪费资源又效率低下,所以本文针对此问题,采用 Python 语言编程和图像识别技术,突破技术难点,提供切实可行的技术流程,使准确快速的矢量解析正射图,以满足存档和不同时期对比的要求,为大量开展此项工作提供前期技术成果。

**【关键词】** 文物建筑; 保护修缮; 正射图; 图示化解析技术; 图示化解析方法

### 1. 引言

#### 1.1 研究背景

开展一切文保工作的基础是文物建筑基础资料的储存和归档工作,此项工作能够保证后续文保工作的顺利开展。当前工程三视图(平面图、立面图、剖面图)在一段时间内将依然是古建筑保护修缮最常用、最重要的图纸资料,是存档的必须。而三视图需要在测绘的基础上取得,当前测绘主要有两种方法,其一是传统测绘方法,该方法效率低下,人工干预性大;其二是利用新兴的三维扫描技术测绘(包括激光点云扫描和倾斜摄影建模技术),该方法开始于上世纪九十年代中期,可以快速、海量的采集空间点位信息,还有非接触、自动化、全信息化等优势,在国家文化遗产保护越来越引起关注,已部分成功运用到保护工程中,已逐渐取代传统测绘方法。

但是现状问题是利用电子扫描测绘后的信息处理技术存在很大的瓶颈,现已经阻碍了该技术的后续应用。扫描得到的数据由于技术较新,平台较多,现阶段还没有一个通用平台能够直接将其转换为三视图并应用在常规文物保护修缮流程中。空间数据模型直接转化为二维 CAD 图纸直到现在依然是难题,其中涉及到特征识别、图像识别、古建筑绘图等多个学科知识

的交叉,进展缓慢且存在技术鸿沟。

虽然当前有一些技术可以部分解决三视图获取问题,比如将点云模型变成 Mesh 曲面后进行切割获取剖切线,但是该方法只能获得剖切线,很多工程必须的轮廓线、看线等重要资料仍旧无法得到。如图 1 所示,红线是能够通过对模型的剖切得到的,而绿线则碍于模型没有突变、分析算法不足等原因无法获取。因而目前对扫描文件的解析并不能得到所需的工程图纸。

三维激光扫描技术是利用点云数据将整体建筑打散为数以千万甚至亿计的彩色点,并按照真实坐标位置排列;倾斜摄影建模技术是利用点云数据形成曲面后,再附给材质。二者获取足够密度的点云或者像素点时,点间距之间的空隙被像素填满。所以视觉上能够成为一张具有照片效果,但透视比例关系正确的“正射图”。

但是,正射图是以点为基本单元进行阵列的格栅图(RasterGraph)类型,而 CAD 则是矢量图类型(VectorGraph),格栅图向矢量图的完美转换直到现在依然无法实现,因为矢量图较格栅图要增加了如线型、线宽、边界等诸多属性。矢量图形的存储方式是一系列的参数与公式集合,而格栅图的存储方式则是像素的阵列与像素点的色彩。高信息量向低信息量转化



图1 Mesh面模型剖切线、轮廓线及看线(作者自绘)

很容易,但低信息量数据向高信息量数据进行转化就非常困难,如想将删除的信息得到重建,计算机只能依靠趋势或概率,而这两种方法都是不准确的。

所以,迫切需要研究一种通过正射图获取二维

图纸的流程方法。如能够将三维扫描文件解析成工程需要的图纸文件,将使存档工作得以快速、高效、无损、全信息储存的进行,对文物建筑的信息整理、探伤、修复、安全保护等方面均有巨大的意义。为国家文物建筑保护提供主要前期技术支撑,使本行业受益。

本文研究正射图的像素关系,部分实现正射图的工程化运用,为大规模开展此领域研究提供前期成果。

## 1.2 国内外研究现状

在利用三维数据进行二维图像绘制方面,王莫等<sup>[1]</sup>通过剖切大木构架的NURBS曲面模型得到了建筑物的结构特征。汤宇阳等<sup>[2]</sup>采用三角网模型,正射影像图的方法对剖面图进行加工,获得了真实精准的二维图像。冯亚飞等<sup>[3]</sup>将三维点云数据进行了平面、立面以及剖面分割。李俊宝等<sup>[4]</sup>利用Cloudworx结合AutoCAD的方法实现对点云数据的剖切。卢其堡等<sup>[5]</sup>利用点云信息构建了建筑的二维专题图。田朋举等<sup>[6]</sup>提出了一种快速生成建筑物断面图的方法,该方法基于剪裁面对建筑物的界面进行截取,然后获得断面的边缘点云二维平面数据。

针对文物建筑正射图的边缘识取和图像识别,张宏伟等<sup>[7]</sup>提出了一种Bezier曲面和NURBS曲面造型相结合的技术。沈蔚等<sup>[8]</sup>提出了一种将“Alpha Shape”算法应用于建筑轮廓线的方法。崔建军等<sup>[9]</sup>针对LIDAR生成的DSM深度图像,提出了一种利用边缘检测算子提出古建筑的图像数据边缘的方法。魏磊<sup>[10]</sup>则对DSM深图像进行直方图阈值分割以及小面积去除的方法进行图像的预处理,对得到的独立建筑物区域利用Canny算法进行边缘检测,然后通过hough变换对边缘进行调整和合并,获得了符合建筑物实际信息的轮廓边缘。王岩等<sup>[14]</sup>利用k-means聚类算法结合双边滤波去噪算法,实现了对文物建筑物中图像数据的去噪的方法。Rousseeuw等<sup>[15]</sup>提出的最小二乘法对图像边缘识取可以获得均方误差意义下的精准直线。Wang Y.等<sup>[16]</sup>针对二维图像和三维点云提出了一种新的边缘提取方法,他们通过建立这两种类型的数据之间的映射关系来表示对象的3D边缘特征,将2D图像中的边缘像素整合

到3D点云中的边界数据中。Ying Wang等<sup>[17]</sup>提出了一种边缘提取的新方法。主要思想是对象点云的边缘数据与相应的数字图像进行组合。在2D图像处理部分上,通过使用Canny边缘检测算法对图像进行边缘提取,提出了一种易于操作的像素数据映射机制。Bazazian D.<sup>[18]</sup>等通过分析由每个点的k个最近邻定义的协方差矩阵的特征值来检测锐利边缘特征,提出了一种快速准确提取边缘线的方法。Ahmed S. M.<sup>[19]</sup>等通过评估局部邻域中的对称性,并使用基于自适应密度的阈值来区分3D边缘点,提出了一种新型的针对点云的边缘和角检测算法。

由此可见,当前有关三维扫描、点云成面、图像数据处理等方面的相关研究较多,而关于正射图自动转换为矢量图的研究较少。尽管目前已经开发了一些识别系统,但它们都是依靠几种基本的技术进行图纸识别,采用有限的方法把识别过程分成在计算机上可以实现的步骤,这些步骤包括图纸扫描,预处理,图文分离,矢量化,综合处理以及最后生成图像等,都是在各自领域解决各自存在的问题。当前研究也没有实现对待同一图像不同精度线条描绘的技术,图像在不同对比度下应该描绘出不同密度的矢量线条,再对不同密度的线条进行选取。当前研究也缺乏对矢量线条进行后续简化、分叉处理、多余控制点删除等方面的探讨。所以本文以正射影像图为基础,采用图像处理、图像识别、线条后处理等相关算法,对正射影像进行矢量转换,将此技术流程与文物建筑图纸存档结合起来,为相关研究提供技术支持。

## 2. 研究方法

文物建筑图纸自动生成与图像识别技术要实现的目标是把正射图转换成CAD图形系统所能接受的二维矢量图形文件形式,并能正确反映原三维图纸所表示的图形信息。这是一个复杂的过程,它牵涉到一系列图像处理及图形学的算法,因此为了正确地识别出文物建筑存档需求的图形信息,有必要对三维图像进行一系列的预处理,本文采用的是如图2所示的7个关键步骤。

分述如下。

### (1) 图片增强

由于正射图中的色彩信息受到光照、天气、信息采集过程等影响,需要对正射图进行增强处理,本文所采用的数据增强方式是增加对比度,具体方法是将图片从RGB颜色空间映射到LAB颜色空间,再使用OpenCV-Python库中的限制对比度自适应直方图均衡化(CLAHE)算法进行对比度的增强。将图片进行数据增强目的是增强图片中的有用信息,有助于后续对图片中边缘的提取,弱化其他无用信息。增强前后的图片对比

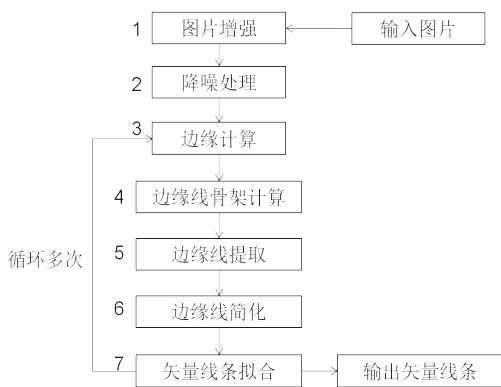


图2 技术流程图  
(作者自绘)



图3 增强前后的图片对比  
(作者自绘)

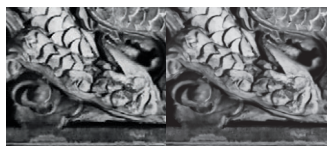


图4 经过滤波、降噪处理后效果示意图  
(作者自绘)

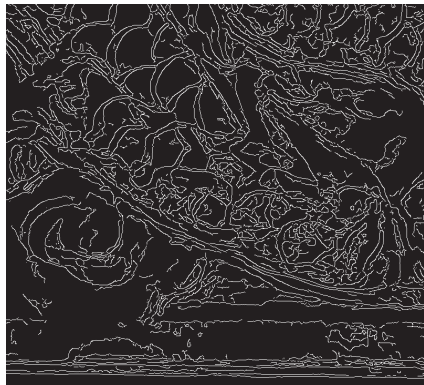


图5 边缘提取效果示意图  
(作者自绘)

如图3所示。

## (2) 降噪处理

用三维激光扫描或者倾斜摄影建模采集到的数据量庞大，必定存在一些差点和错误点，统称为噪声点。噪声的存在将直接影响系统程序后续处理的精度。这是因为细化算法对噪声很敏感，噪声的出现可能使细化抽取出的骨架偏移真正的边缘线骨架，从而又会影响后续的处理步骤。因此，必须对增强过的图像进行降噪，高斯模糊滤波处理，将图像中的噪点取消，处理成突变处明显但是其余部分相对“光滑”的图像。去噪前后的图片对比如图4。

## (3) 边缘计算

对于给定的图形，将其线宽变细，从而提取线宽为1个像素的中心线的操作称为细化。通常把图形实施细化后剩下的部分称作骨架或中轴。细化把线条的宽度减少到仅有一个像素，最后剩下的像素称为骨架像素。针对文物建筑图纸而言，细化的结果应该是线条的中心像素，以保证精度，方便后续提取图形的特征信息。本章节采用的是基于Python语言的Canny边缘检测算法及Morphology.Skeletonize骨架提取与分水岭算法。识别图片中各个图形的边缘在将图片从RGB图进行灰度转换后，分别计算x、y两个方向的梯度，并通过高低阈值来控制边缘检测。高阈值用于检测图片中的边缘，低阈值用来将间断的边缘链接起来。得到的边缘线如图5。

## (4) 边缘线骨架计算

边缘计算得到的图片边缘较为粗糙，有些地方的线并不是单线条。所以本步骤通过skimage库中的morphology.



图6 骨架计算效果示意图  
(作者自绘)

skeletonize算法，将边缘线进行简化处理。骨架计算的示意图如图6所示。

## (5) 边缘线提取

边缘计算得到的边缘

线仍然是二维图像上的散点图的形式，且边缘会出现分叉的情况。本步骤会将散点图形式的线条提取为单一的线条，每一个线条用一系列的坐标点储存。同时会将分叉的线切割为多个线条分别保存。

## (6) 边缘线简化

上一步骤得到的边缘线中会有很多冗余的点和线，本步骤中通过计算每个点在曲线上的偏移程度来判断这个点是否可以删除。并且根据整条曲线的长度来判断这条曲线是否保留。偏移程度会通过Python算法编译高低阈值，通过阈值的筛选来判断，如果偏移程度大于预设值，则删除，反之亦然。

## (7) 矢量线条拟合

图纸前期细化处理的主要目的是为后期矢量化拟合做好准备，经过细化和边缘线提取操作之后，由于识别出的文物建筑的轮廓线存在直线和曲线两种形式，此时的图像数据还需进一步处理。本文采用的是NURBS（非均匀有理B样条 Non-Uniform Rational B-Splines 的缩写）曲线，将栅格的点阵作为控制点，将插值曲线拟合出来。如图7所示，左侧图示意红色网格和黑色网格的分界点，右侧示意将分界点用NURBS曲线连接起来，拟合成均匀的边界。曲线拟合过程包括两步：拟合和分割。拟合的任务是寻找能最好逼近给定数据点的数学曲线，分割的任务是根据数据点所反映的图段的实际形状，有可能把图段分成几个部分，然后在每一个部分上分别拟合，以寻求整体逼近时得到最好效果。

(8) 重复步骤3-7，矢量图像经过细化、拟合后，需要对图像进行综合处理。因此重复前文中细化处理与线条拟合处理，通过设置多个高低阈值，来得到多个不同精度的边缘线，合并同一边缘线条。

## 3. 成果

综合处理是图像识别系统的必不可少的一步，以提供给



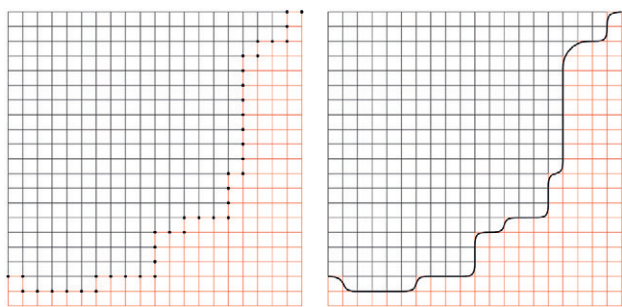


图7 图像分界点和 NURBS 曲线连接 (作者自绘)

CAD、AI 等做图软件更准确的信息。当图纸经过矢量化处理后,为了文保工作者后期可以在 CAD 系统中处理和编辑图形,需要把图形信息通过一种 svg 可缩放矢量图形来存储已经提取的矢量线条。svg 是一种新型的矢量图形标准,这种技术所形成的图像质量非常好,形成的图像小,所以对图像进行保存和显示都十分的便捷,在这一过程中所选取的文件格式转换便捷,在运行的过程中有很好的交互作用,对于文物建筑图纸存档起到至关重要的作用,为后期文物保护与修缮提供便利。

如图8所示,左一、左二、右二示意不同阈值的多个不同精度的边缘线,右一图所示为多个精度边缘线的叠合,通过程序自动调整打印线条的淡显和粗细,自动输出矢量图形。

#### 4. 总结与展望

本文通过点云模型转换出的正摄图,在 Python 语言环境下转换成的二维矢量线图,最后通过导入 AutoCAD、AI 等软件,导出的矢量线图线形连续、清晰,能够通过线型的不同和线的疏密来区分层次。不同于手工描图的是,本文研究的关键的是文物建筑描图节省了大量的人力和物力,在细节表达上棱角分明,线条完善,误差小,可以将建筑彩画、雕刻等细节的神韵表现的真实细致。同时本文还可以将文物建筑存档所需要的残损,病害部位的数据信息表现的更精确,为后期古建筑信息的采集、处理、存储及展示应用做充分的准备。所以本文研究的意义是针对图纸存档技术的综合性研究与开发的不足,结合文物建筑领域的相关技术,研究出一套文物建筑图纸存档的综合性自动生成方法。图像识别技术是一项蓬勃发展的技术,在文物建筑的数字化保护中也得到了广泛的应用,希望本文关于图像识别技术与系统对文物建筑保护修缮工作有所帮助,为建筑文化遗产的传承和发展贡献力量。

文物建筑工程图纸存档需求的自动识别与生成系统的开发与研究是一个相对复杂的研究课题,在研究过程中需要编写、测试大量的程序代码。本文通过研究与文保工程图纸输入与图像识别有关的一些问题,提出了一个文物建筑与图像识别综合

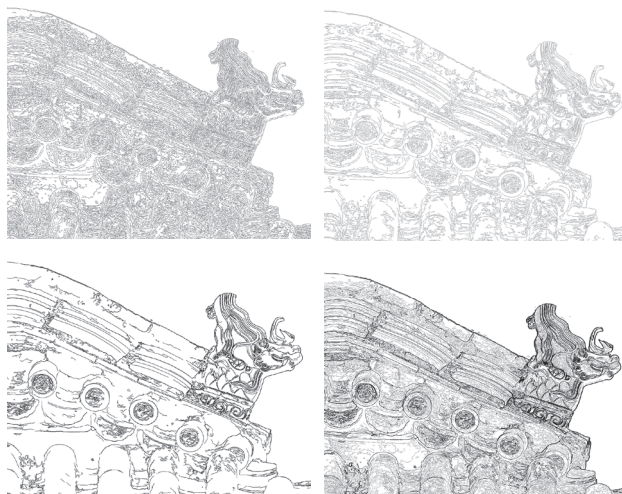


图8 多个不同精度的边缘线及其叠合 (作者自绘)

的实验系统框架。由于作者能力有限,加之研究时间短,所开发的程序暂时还不完善,存在一些问题没有解决,有待进一步的增强、改进。

需要在如下几个方面进行改进:

##### (1) 线型分层优化

实际文物建筑工程图纸具有各种各样的线条,它们代表不同的意义,有代表物体轮廓的各种粗细实线,又有代表几何信息的尺寸线、对称线,还有文物建筑本身的雕饰线,后期处理中能够更好的区分出线型对于图纸存档更为便利。

##### (2) 广泛应用人工智能

随着 5G 时代的到来,计算机与数字化技术愈发完善,利用人工智能, BIM 参数化,多方协同等技术必将大大提高图纸的识别处理能力,各学科、领域之间协同合作,会提高工作效率,是未来发展的趋势。

Python 源代码从略。

#### 参考文献

- [1] 王莫. 三维激光扫描技术在故宫古建筑测绘中的应用研究[J]. 故宫博物院院刊, 2011(06):143-156.
- [2] 汤羽扬, 杜博怡, 丁延辉. 三维激光扫描数据在文物建筑保护中应用的探讨[J]. 北京建筑工程学院学报, 2011, 27(04):1-6.
- [3] 冯亚飞, 陈云波, 张河坤, 谭晓华. 三维点云数据在历史建筑结构分析和尺寸量测中的应用[J]. 地矿测绘, 2015, 31(02):4-8.
- [4] 李俊宝. TLS 在古建筑测绘及建模中的应用研究[D]. 长安大学, 2015.
- [5] 卢其堡. 三维激光扫描技术在古建筑测绘中的应用[J]. 北京测绘, 2020, 34(05):623-627.
- [6] 田朋举, 梅文胜, 花向红, 于安斌. 一种基于点云数据快速生成建筑物断面图的方法[J/OL]. 测绘地理信息: 1-11 [2020-06-24].
- [7] 张宏伟, 赵小松, 张国雄. 三维曲面重构技术[J]. 天津大学学报, 2002(02):183-186.
- [8] 沈蔚, 李京, 陈云浩, 邓磊, 彭光雄. 基于 LIDAR 数据的建筑轮廓线提

- 取及规则化算法研究[J]. 遥感学报, 2008(05):692-698.
- [9] 崔建军, 隋立春, 徐花芝, 赵旦. 基于边缘检测算法的 LiDAR 数据建筑物提取[J]. 测绘科学技术学报, 2008(02):98-100.
- [10] 魏磊. 基于机载 LiDAR 点云数据的建筑物边缘提取[D]. 长安大学, 2013.
- [11] 张志佳, 魏信, 周自强, 吴天舒, 贾梦思. 基于深度图像和点云边缘特征的典型零部件识别[J]. 信息与控制, 2017, 46(03):358-364.
- [13] 徐风尧, 王恒升. 移动机器人导航中的楼道场景语义分割[J]. 计算机应用研究, 2018, 35(06):1863-1866.
- [14] 王岩, 曲金博, 由迎春. 古建筑三维点云数据去噪方法[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2019, 35(06):1074-1081.
- [15] Rousseeuw, Peter J. Least Median of Squares Regression[J]. Journal of the American Statistical Association, 1984, 79(388):871-880.
- [16] Wang Y, Ewert D, Schilberg D, et al. A New Approach for 3D Edge Extraction by Fusing Point Clouds and Digital Images[J]. Applied Mechanics and Materials, 2013, 457-458:1012-1016.
- [17] Ying Wang, Daniel Ewert, Daniel Schilberg,. Edge extraction by merging 3D point cloud and 2D image data[C]// International Conference & Expo on Emerging Technologies for A Smarter World. IEEE, 2014.
- [18] Bazazian D, Casas J R, Ruiz-Hidalgo J. Fast and Robust Edge Extraction in Unorganized Point Clouds[C]// 2015 International Conference on Digital Image Computing: Techniques and Applications (DICTA). IEEE, 2015.
- [19] Ahmed S M, Tan Y Z, Chew C M, et al. Edge and Corner Detection for Unorganized 3D Point Clouds with Application to Robotic Welding[J]. 2018.
- [20] Yoshimoto F, Harada T, Yoshimoto Y. Data fitting with a spline using a real-coded genetic algorithm[J]. Commuter-Aided Design, 2003, 35(8): 551-760.
- [21] Piegel A, Tiler W. Least-squares B-spline process approximation what arbitality end derivatives[J]. Engineering with Computers, 2000, 16(2):109-11.

(上接 64 页)

的主体空间。过渡空间各有一月洞门(直径 2 米)与东、西禅院相联, 西侧有宗教小品经幢点缀。院正中矗立高大铁香炉, 大殿前有“对生松”, 南部对植两株银杏, 院落内配植长寿植物以示佛教香火不断, 源远流长。普照寺转折空间具有突然感, 通常使人时时觉得应接不暇, 在游览过程中峰回路转, 出其不意, 别有洞天。

#### 4.4 “合”

“合”是普照寺园林空间最精彩的部分。大雄宝殿东、西两侧各有垂花门与后院相联。如果说大雄宝殿所在四院落有令人倍感压抑的宗教空间, 那么登上高台则为开朗恬静的园林空间。首先在东西方向打破沉闷封闭的建筑空间, 五院落与东石堂院和西菊林院两院之间设低矮花墙(约半米), 以联接、渗透、分割、融合的方式组合园林空间<sup>[8]</sup>(如图 12)。菊林院古韵尤存, 地势较高, 因而借来更多景色, 石堂院中植物高低错落, 富有层次。筛月亭四副对联巧妙绝伦, 亭下有五音石, “宫、商、角、徵、羽”皆可由石桌的四角及中央拍打发出。由亭向西可观“六朝松”朝东可赏“师弟松”。摩松楼是普照寺最后也是最高的建筑, 檐檩、额枋均施彩绘, 为旋子彩画<sup>[9]</sup>, 藻头设“旋子”、枋心和箍头纹样丰富多样, 屋顶有走兽 3 尊(如图 13、14)。摩松楼和楼前筛月亭、六朝松有机结合, 形成寺内一大亮点。

## 5. 结语

普照寺建筑设计和空间处理十分注重世俗生活与宗教生活的融合, 寺内布局亦神亦俗, 寺外环境活泼明朗、亲切宜人。总结其特点如下:

佛法空间的缘起——普照寺“相地合宜, 构园得体”, 形

成一主二副的三轴多院落的园林山地空间。总体布局藏而不露, 每进院落层层推进, 寺院隐于风景山地之中, 为进入寺院修行、祈福的人提供了必要超然宁静的精神空间。

过渡阶段的承接——巧妙利用建筑围合、空间渗透、植物造景等手段, 形成不同空间形态, 以空间的开合、转折、明暗等方式营造出变化多端的空间关系, 使得各空间能够组合相宜, 起到引导、铺垫和净化的作用。

空间形态的转折——宗教祀品或立于轴线之上, 奇石古木或置于庭院之中, 入寺的参观者视域被香炉、植物所遮蔽, 或左右前行, 寺院主要建筑映入眼帘, 顿时肃然起敬。

空间关系的高潮——普照寺宗教空间与园林空间互相融合, 宗教空间的意境通过合乎礼制的建筑布局来塑造, 园林空间既顺应佛教大众化, 又提供优美环境, 依靠前者提供气蕴基础, 依靠后者升华空间意境。

## 图片来源

图 3 转摄于《岱览》和《石堂集》, 其余图表均是作者自绘。

## 参考文献

- [1] 李正明, 戴有奎. 泰山石刻大全[M]. 泰安市文物局编. 2006.
- [2] 李正明. 泰山研究论丛[M]. 青岛海洋大学出版社, 1989.
- [3] 梁思成. 中国的佛教建筑[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 1961(2):16-27.
- [4] 芦原义信著, 尹培桐译. 外部空间设计[M]. 中国建筑工业出版社
- [5] 白佐民. 视觉分析在建筑创作中的应用[J]. 建筑学报, 1979(3):9-15.
- [6] 王路. 天工与人巧——佛寺与山林环境的结合[J]. 中国园林, 1990(3):20-24.
- [7] 周维权. 中国古典园林史[M]. 清华大学出版社, 1990.
- [8] 赵光辉. 中国寺庙的园林环境[M]. 北京旅游出版社, 1987.
- [9] 蒋广全. 中国建筑彩画讲座——第三讲: 旋子彩画[J]. 古建园林技术, 2014(2).