

圆柱雾屏承载相息图光电再现三维影像的实验研究

于瀛洁 代林茂 郑华东 王涛

(上海大学精密机械工程系, 上海 200072)

摘要 提出了一种基于圆柱雾屏承载全息光电再现三维(3D)影像的方法。通过基于菲涅耳衍射原理的动态随机相位层析法(DPP-TCH)结合空间坐标变换技术计算获得3D物体360°视角相息图,对每视角单幅相息图及每视角多幅相息图的数值再现结果进行对比分析。构建了基于液晶空间光调制器(LC-SLM)的实验系统进行全息光电再现,并采用圆柱雾屏对光电再现3D影像进行承载实验。实验结果表明,该系统可有效地实现3D物体的全息光电再现动态影像的空间承载,抑制3D再现像的散斑噪声。

关键词 计算全息;三维影像承载;圆柱雾屏;光电再现

中图分类号 O438.1

OCIS 090.1760 090.2870 110.3010

文献标识码 A

Experimental Study on Carrying Three-Dimensional Image with Cylinder Mist Screen in Electro-Holographic Reconstruction

Yu Yingjie Dai Linmao Zheng Huadong Wang Tao

(Department of Precision Mechanical Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract A method is proposed for carrying three-dimensional (3D) image with cylinder mist screen in electro-holographic reconstruction. 360° kinoforms of 3D object are generated by use of dynamic pseudorandom-phase tomographic computer holography (DPP-TCH) and spatial coordinate transformation. The results of numerical reconstruction with single kinoform and multiple kinoforms of each viewing angle are analyzed. Experimental system is designed for optoelectronic holographic reconstruction based on cylinder mist screen and liquid crystal spatial light modulator (LC-SLM). Experimental results show that the proposed method is capable of spatially carrying reconstructed 3D image in optoelectronic holography, and suppressing the speckle noise of 3D image.

Key words computer holography; three-dimensional image carrying; cylinder mist screen; optoelectronic reconstruction

1 引言

全息术通过在特定的介质上记录三维(3D)场景的振幅和相位信息,然后在特定空间中重现3D场景。不同于双目视差术和体视术等3D显示技术,它能给人以自然的深度信息感知,并且不需要佩戴特殊的设备就能观察到3D的再现像。当前全息术发展主要存在的问题是再现3D影像的承载方法和全息光电动态显示的视角问题等。研究人员提出了各种3D影像承载方法,如D. L. MacFarlane^[1]提出高速变焦薄膜镜,通过电动控制薄膜做规律往返运动改变其光学焦距;E. Downing等^[2]提出基于螺旋体的全3D影像承载,通过将影像投影到螺旋面上,控制光源时序和螺旋面旋转同步实现空间3D影像承载;耿征^[3]提出了高速运转的空间运动屏幕和基于空间光调制器(SLM)的旋转螺旋面的真3D影像承载方法。这些技术需要高速的机械运动及严格的图像投射时序同步,投射的图像是经过处理的二维平面图像。对于全息再现影像(本文均指再现实像),当前利用颗粒散射、反射效应承载3D影像的物质主要有糖凝胶、多层可控液晶^[4]、雾屏^[5,6]等。2008年K. Takano等^[7]提出了基于平面雾屏的影像承载方法,具有较好的3D再现信息承载效果。雾气作

收稿日期: 2010-04-24; 收到修改稿日期: 2010-06-09

基金项目: 国家自然科学基金(60772124)、上海市科委国际合作项目(09530708700)和上海大学研究生创新基金(SHUCX102195)资助课题。

作者简介: 于瀛洁(1969—),女,教授,博士生导师,主要从事工程中的光学检测方法和数字全息技术等方面的研究。

E-mail: yingjieyu@staff.shu.edu.cn

为一种特殊的散射介质对 3D 影像的承载具有独特的效应,而且由于全息再现像本身的 3D 特性,可避免时序控制复杂及机械运动速度受限等缺点。

本文提出一种基于圆柱雾屏的全息光电再现 3D 影像的承载方法并开展实验研究。用动态随机相位层析法(DPP-TCH)获取 3D 物体的相息图,对每视角单幅和多幅相息图数值再现结果进行了对比分析。以头像 3D 模型的 360°视角相息图光电再现像的承载为例开展实验研究。

2 基本原理

3D 物体全息图计算方法包括:层析法^[8]、菲涅耳波带法^[9]、多视角投影合成全息法^[10]等。层析法得到的博奇编码全息图^[11]衍射效率低,存在共轭像的干扰。如果只对全息面复振幅相位进行编码制作相息图,则可消除全息再现中共轭像^[9]。但这样会导致部分物波信息丢失,表现为再现像存在散斑噪声干扰,此外激光的相干性也是导致再现像存在散斑噪声的重要因素^[12~14]。因此,本文采用动态随机相位层析法^[15]制作各视角的多幅相息图以抑制散斑噪声。

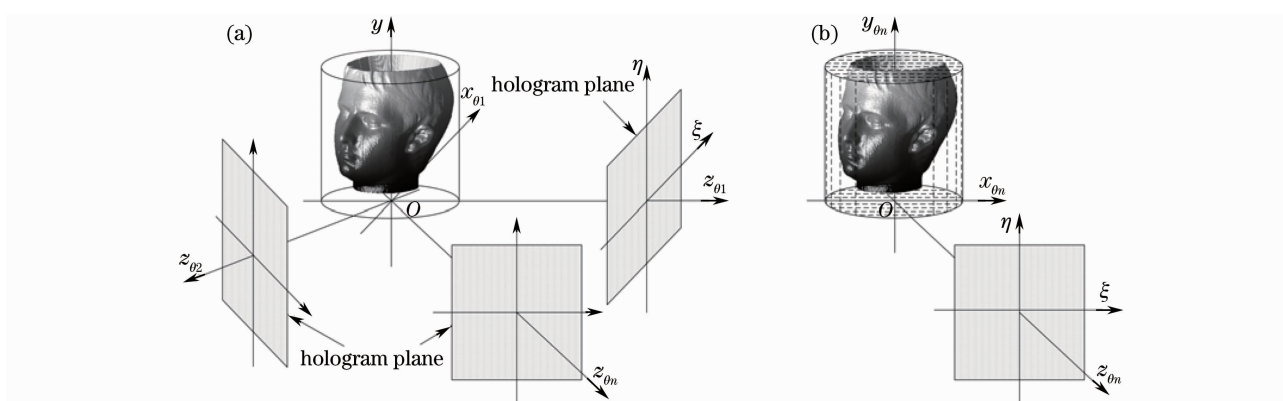


图 1 动态随机相位层析法计算 3D 物体 360°相息图的原理示意图。(a)全息面与物面的坐标关系, (b)视角为 θ_n 时 3D 物体的分层模型

Fig. 1 Schematic diagram of calculating 360° kinoforms of 3D object with DPP-TCH. (a) coordinate system for hologram calculation, (b) tomographic model of 3D object under the viewing angle θ_n

动态随机相位层析法的原理是:在计算每个视角的相息图时,沿该视角方向将可视信息分为若干层,计算各层物面对全息面的复振幅贡献并进行叠加,再计算出该视角的一幅相息图,如图 1 所示。为了抑制散斑噪声,在每个视角均计算多幅相息图,并在计算不同相息图时在各层物面加载动态变化的随机相位因子,则得到多幅模式不同的相息图。再现时将相应视角的多幅相息图再现物波进行空间叠加,则可实现对共轭像及噪声的有效抑制。采用空间坐标变换原理,在水平面内的圆周方向以一定角度间隔计算获得 360°视角的相息图^[16]。再将 360°视角相息图按照旋转角度递增的顺序加载到 SLM 上,用激光照射 SLM 后获得 3D 物体 360°视角的再现影像。最后用圆柱雾屏对再现的 3D 动态影像进行承载。实验系统示意图如图 2 所示。

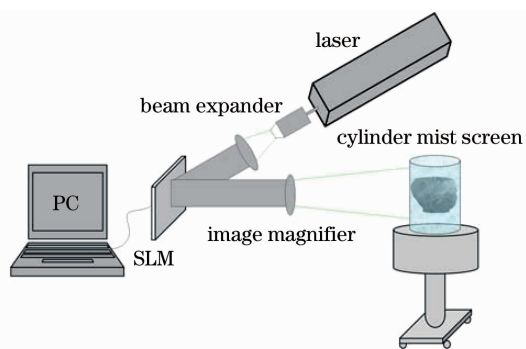


图 2 基于圆柱雾屏的全息光电再现影像承载系统
Fig. 2 System of carrying 3D image with cylinder mist screen in electro-holographic reconstruction

3 实验装置

3.1 圆柱雾屏

实验中采用圆柱雾屏对 3D 物体相息图光电再现像进行承载。水雾构成的雾气屏可作为一种散射物质,用来承载 3D 空间像,可在圆柱雾屏中观察到 3D 影像的每个物点^[7],其原理如图 3 所示。实验中雾气

发生器的主要指标:功率为 600 W,雾气高度大于300 mm,圆柱雾屏的直径为 300 mm,雾气颗粒直径集中在 1~10 μm ,雾气浓度、风力级数可调。圆柱雾屏实物及雾气状态如图 4 所示。

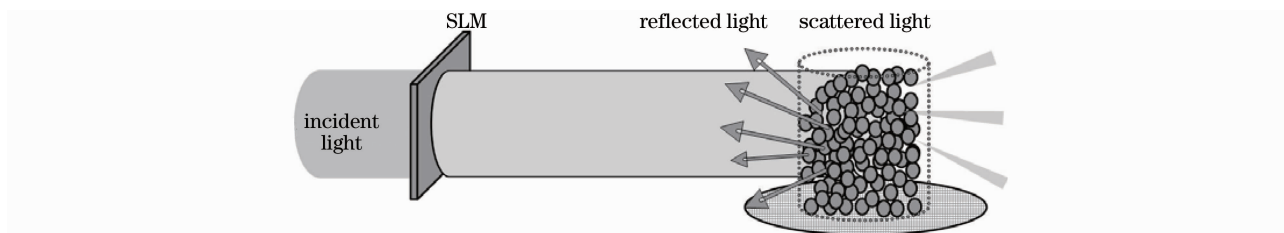


图 3 圆柱雾屏用作散射介质

Fig. 3 Cylinder mist screen as scatter medium

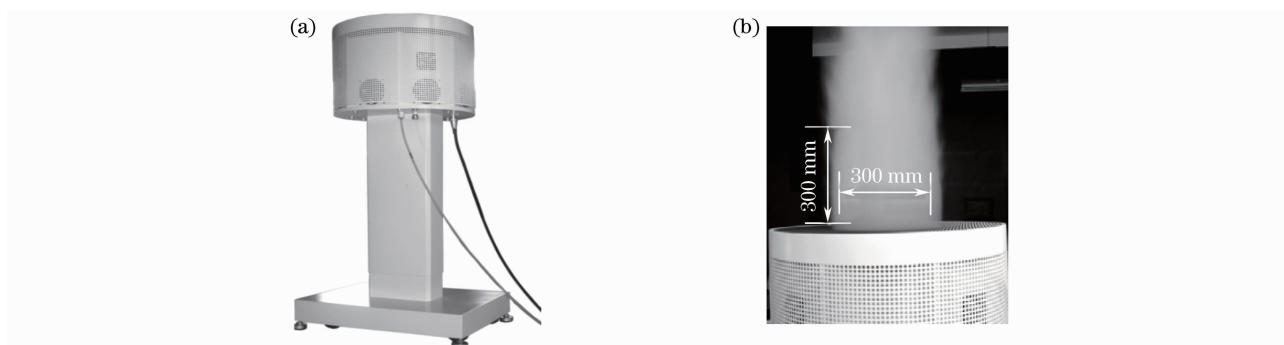


图 4 圆柱雾屏发生器及其工作状态。(a) 实物照片,(b)圆柱雾屏工作状态

Fig. 4 Cylinder mist screen generator. (a) picture of generator, (b) working state of cylinder mist screen

雾气浓度越均匀对 3D 影像承载效果越好,产生的雾气受气流、风速等外界影响,雾气空间分布具有不均匀性。为了对雾气质量作客观评价,考察如图 4(b)方框所示的圆柱雾气中有效区域(直径为 300 mm,高度为 300 mm)中心垂直线上雾气的强度分布,结果如图 5 所示。从图 5 分析可知,雾气颗粒较均匀,且该区域可满足光电再现像的承载要求。

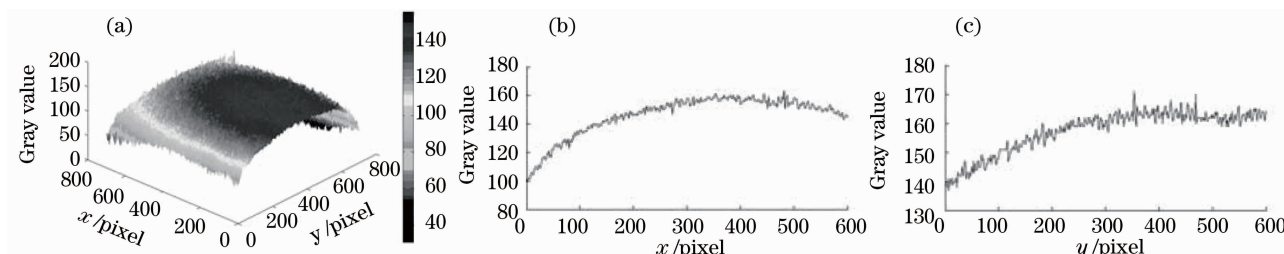


图 5 圆柱雾屏有效区域分析。(a)雾气浓度的空间分布,(b)图 5(a) x 方向中截线上的

雾气浓度分布,(c)图 5(a) y 方向中截线上的雾气浓度分布

Fig. 5 Analysis of valid district of cylinder mist screen. (a) density distribution of mist, (b) density distribution along the center line of x -direction in Fig. 5(a), (c) density distribution along the center line of y -direction in Fig. 5(a)

3.2 实验光路

图 6 是全息光电再现实验系统照片。实验中当激光光源发出 532 nm 的激光经扩束准直后,照射到 LC-SLM (德国 Holoeye 公司生产的 LCR-2500 型)上,将动态随机相位层析法计算得到的相息图加载到 SLM 上。每个视角加载了若干幅相息图,即看到的每个视角的再现图像是若干幅包含了相同物信息的相息图再现像的叠加效果。360°周视计算相息图以一定的投射速率(计算机可控)循环加载到 SLM 上进行光电再现。

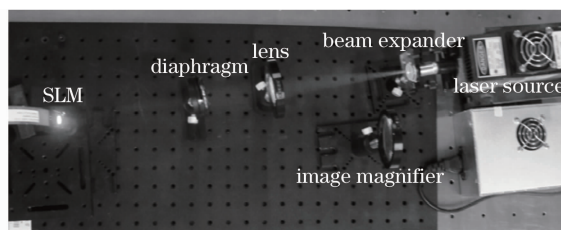


图 6 光电再现实验系统照片

Fig. 6 Picture of experimental system for optoelectronic reconstruction experiment

4 实验结果

以 3D 人头轮廓为实物(轮廓数据由光学扫描仪获得),采用动态随机相位层析法结合空间坐标变换技术计算 3D 物体 360°视角相息图并进行计算机数值再现,用圆柱雾屏对基于 SLM 的光电再现 3D 动态影像进行承载。

4.1 计算机数值再现结果

图 7(a)为 3D 头像面型轮廓(定义该视角方向为 0°),圆柱直径为 10.24 mm,高度为 7.68 mm,圆柱径向和纵向采样间隔均为 10 μm ,则 3D 物体按轴线方向分为 1024 层。每层采样像面大小为 1024 pixel \times 768 pixel。图 7(b)为距离全息面 $d=500$ mm 时计算得到的单幅相息图,右上角为局部放大图。图 7(c)为采用菲涅耳衍射公式^[17]对一个视角的相息图进行数值再现结果,右上角为局部放大视图。图 7(d)为 20 幅相息图数值再现像叠加后得到的结果。

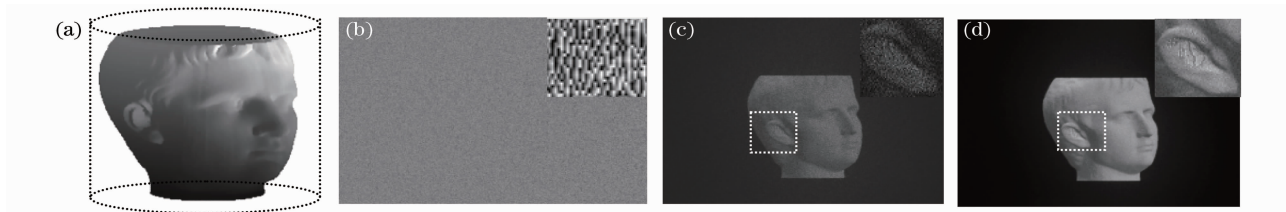


图 7 3D 物体的相息图及其数值再现效果。(a)3D 头像模型,(b)单幅相息图,(c)单幅相息图再现结果,(d)20 幅相息图再现像的叠加结果

Fig. 7 Kinofoms of 3D object and numerical reconstruction. (a) 3D object, (b) single kinoform, (c) numerical reconstruction from single kinoform, (d) superposing result of numerical reconstructed images from 20 kinoforms

从数值再现结果来看,再现像中没有零级和共轭像的影响,但单幅相息图再现像噪声较严重,而 20 幅相息图再现像叠加后散斑噪声得到有效的抑制,对比度得到提高,细节更突出。

4.2 光电再现结果

以一定速率循环加载相息图,经过图 5 所示的系统再现在圆柱雾屏上,得到连续的动态再现旋转人头像。实验中采用的 SLM 的刷新频率为 72 frame/s,因此实验中设定的相邻图像的变化速率最高为 24 frame/s,每个视角的再现像是 3 幅(再现头像旋转速度慢时,可以增加投射的幅数)包含了相同物波信息的相息图的再现像的叠加。把物体 360°周视分为 60 个视角(即每隔 6°设定一个视角),整个视频包含 180 frame(60 个视角 \times 3 幅/视角)相息图。图 8 所示分别为 0°,120°和 240°时 3 个视角的轮廓数据,图 9 为雾气屏上承载的光电再现影像。



图 8 3D 头像在不同视角下的投影视图。(a)0°, (b)120°, (c)240°

Fig. 8 Projection views of different viewing angles of a 3D head-model. (a) 0°, (b) 120°, (c) 240°

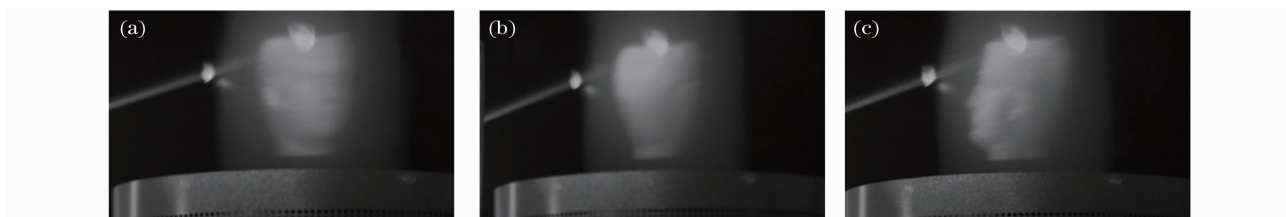


图 9 圆柱雾屏承载光电再现动态影像。(a)0°, (b)120°, (c)240°

Fig. 9 Dynamic 3D images carried with cylinder mist screen in optoelectronic reconstruction. (a) 0°, (b) 120°, (c) 240°

另外,圆柱型雾器屏主要适于承载圆周型的物体,轮廓变化比较舒缓,但是受限于光束通过雾气时的前后串扰,目前无法实现整周观看,只能在光束投射方向左右进行观看,通过雾屏可以看到一个圆柱型的头像在空间不断旋转以及不同视角的信息。本实验装置可以控制再现速率进行观察。由图 2 和图 4(b)所示,由于所有视角的相息图再现像的位置是统一的,且雾气承载装置和全息投射系统都是不动的,因此每个视角的多幅相息图叠加不会引起再现像的模糊。

实验中再现光束透过圆柱雾屏时从侧面观看形成光束柱,当调节雾气浓度低于一定程度时,则在像焦点处的散射像对比度较好,但是对 3D 信息的承载效果有限,可视角度变化不明显。当雾气浓度高时光线在雾柱中任何位置都散射,这样使得焦点处散射像对比度降低。因此雾气颗粒以及浓度的调节对再现像的对比度影响较大。从再现像的承载效果来看,圆柱雾屏可以作为 3D 物体影像的动态承载介质,但只限于非透明、单视角信息各层无遮挡物体的再现情况。

5 结 论

提出了一种基于圆柱雾屏的计算全息光电再现实像承载的方法。用动态随机相位层析法计算相息图。为了提高再现影像的质量,采用相息图消除共轭像,并采用多幅相息图再现叠加抑制散斑噪声。用圆柱雾屏对再现实像进行承载,利用雾气颗粒的散射作用增强 3D 影像的空间深度感。当前光电再现承载效果与达到满意的显示效果尚有一定的距离,圆柱雾屏承载方式适用于回转型物体,同时雾气受环境影响而产生较大的飘浮性等都是其受限的原因。受系统硬件设备限制,承载像的可视角度不大,下一步将对基于圆柱雾屏的全息光电再现像质量的提高和视角的扩展进行深入研究。

参 考 文 献

- 1 D. L. MacFarlane. Volumetric three dimensional display[J]. *Appl. Opt.*, 1994, **33**(31): 7453~7457
- 2 E. Downing, L. Hesselink, J. Ralston *et al.*. A three-color, solid-state, three-dimensional display[J]. *Science*, 1996, **273**(5279): 1185~1189
- 3 Geng Zheng. High resolution volumetric three-dimensional display-state of the art in information technology[J]. *Science and Technology Review*, 2007, **25**(20): 21~26
耿 征. 真三维高清晰度显示技术-信息显示领域的重要发展方向[J]. 科技导报, 2007, **25**(20): 21~26
- 4 K. Sato, H. Zhao, K. Takano. Large viewing angle projection type electro-holography using new type mist 3-D screen[C]. *SPIE*, 2008, **6912**: 69121D
- 5 B. Munjuluri, M. L. Huebschman, H. R. Garner. Rapid hologram update for real-time volumetric information display [J]. *Appl. Opt.*, 2005, **44**(24): 5076~5085
- 6 L. D. Paulson. Displaying date in thin air[J]. *IEEE Computer*, 2004, **37**(3): 19
- 7 K. Takano, K. Sato, M. Ohki. On a holographic 3D screen display using scattering of particles[J]. *J. Inst. Image Info. Telev. Eng.*, 2003, **57**(4): 476~482
- 8 S. Trester. Computer-simulated Fresnel holography[J]. *Eur. J. Phys.*, 2000, **21**(4): 317~331
- 9 Zheng Huadong, Yu Yingjie, Cheng Weiming. Computer-generated hologram calculation for spatial reconstruction of three-dimensional object[J]. *Optical Precision Engineering*, 2008, **16**(5): 917~924
郑华东, 于瀛洁, 程维明. 三维物体空间再现技术中的全息图计算[J]. 光学精密工程, 2008, **16**(5): 917~924
- 10 Lou Yimin, Wang Hui, Jin Hongzhen *et al.*. Computer assistant synthetic holography using lens array[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2008, **37**(1): 125~128
楼益民, 王 辉, 金洪震 等. 计算机辅助透镜阵列合成全息术的研究[J]. 光子学报, 2008, **37**(1): 125~128
- 11 Yu Zhuliang, Jin Guofan. Computer Generated Hologram[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1984
虞祖良, 金国藩. 计算机制全息图[M]. 北京: 清华大学出版社, 1984
- 12 Shen Tingmei, Gu Ying, Wang Tianshi *et al.*. Speckle reduction in optical coherence tomography[J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(9): 1437~1440
沈婷梅, 顾 瑛, 王天时 等. 光学相干层析成像中散斑噪声减小算法[J]. 中国激光, 2008, **35**(9): 1437~1440
- 13 Kang Yusi, Liu Weiqi, Feng Rui *et al.*. Offset interference of laser TV[J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(4): 615~619
康玉思, 刘伟奇 冯 睿 等. 激光电视的消干涉[J]. 中国激光, 2008, **35**(4): 615~619

- 14 Qiu Jianjun, Zhang Hongyan, Luo Weihua *et al.*. Impact of averaged image speckle size on laser speckle imaging[J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, **29**(7): 1863~1867
邱建军, 张红艳, 骆卫华 等. 像面散斑平均尺寸对激光散斑成像的影响[J]. 光学学报, 2009, **29**(7): 1863~1867
- 15 H. D. Zheng, Y. J. Yu, H. Y. Qian *et al.*. Reduction of speckle noise by multi-kinoforms in holographic three-dimensional display[C]. *SPIE*, 2008, **7155**: 71550C
- 16 H. D. Zheng, Y. J. Yu, T. Wang *et al.*. A dynamic three-dimensional display technique based on liquid crystal spatial light modulator[C]. *SPIE*, 2008, **7000**: 70001U
- 17 Chen Jiabi, Su Xianyu. Principle and Application of Optical Information Technology[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006
陈家璧, 苏显渝. 光学信息技术原理及应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006