

Dataset collection for visible fetus with single ventricle and digital three dimensional reconstruction of the heart

REN Bing¹, XIA Hong-mei^{1*}, TAN Li-wen², LI Qi-yu², JIANG Yan¹,

LI Xiao-yu¹, LI Ying², GAO Yun-hua¹, ZHUO Zhong-xiong¹

(1. Department of Ultrasound, Xinqiao Hospital, Third Military Medical University, Chongqing 400037, China;

2. Teaching and Research Section of Anatomy, Third Military Medical University, Chongqing 400038, China)

[Abstract] **Objective** To build the dataset of visible fetus with single ventricle (SV) and aortic coarctation (CoA), and to rebuild a 3D digitized heart model. **Methods** After undergoing macroscopical, CT and MR examinations, a cadaver of 35-week female fetus with SV and CoA which weighted 2650 g was selected. A digital milling machine was used to shave off slices of the cadaver layer by layer from head to foot in a laboratory at -25°C . The successive cross-sections were photographed with a high-definition digital camera to obtain the structural dataset of the cadaver. Semi-automated segmentation and Photoshop software were selected to segment the heart and great vessels of base of the heart. The segmented structures were reconstructed in 3D. **Results** CT scans were made in every 0.625 mm, and MRI with 3.0 mm slice thickness for the body. For serial cross-sections, the thickness was 0.2 mm. Thus, a total of 1495 slices were obtained, and the photo for every slice was saved as a 31.4 MB file in a resolution of 10989056 pixels (4064×2704). Finally, the complete data files reached to 46.943 GB. A 3D reconstruction and stereo display of the heart with SV and CoA were established. The reconstructed structures could be displayed singly, in small groups or as a whole and continuously rotated in 3D space at different velocities. **Conclusion** This study provides an accurate successive dataset for the automated segmentation algorithmic study of fetal development and anatomical structure for making plans of heart surgical and clinical image medical teaching about complicated congenital heart diseases.

[Key words] Cardiovascular abnormalities; Fetus; Anatomy, cross-sectional; Digitalization; Three-dimensional reconstruction

数字化单心室胎儿人体结构数据集采集与心脏三维重建

任冰¹, 夏红梅^{1*}, 谭立文², 李七渝², 蒋演¹, 李晓瑜¹, 李颖², 高云华¹, 卓忠雄¹

(1. 第三军医大学新桥医院超声科, 重庆 400037; 2. 第三军医大学解剖学教研室, 重庆 400038)

[摘要] **目的** 建立数字化单心室胎儿人体结构数据集, 以及单心室合并主动脉缩窄的数字化三维心脏模型。 **方法** 选择经产前超声确诊后于妊娠 35 周引产、引产后经 MR 和 64 排 CT 扫描证实患有心脏复杂畸形的女性胎儿尸体标本 1 具, 体质量 2650 g, 在 -25°C 低温实验室中从头至足逐层连续性铣切, 同时用高清晰度数码相机摄影, 得到胎儿人体结构数据集。采用半自动分割软件和 Photoshop 软件对心脏及心底部大血管进行图像分割与三维重建。 **结果** CT 扫描层厚 0.625 mm。MR 扫描层厚 3.0 mm。连续解剖横断面层厚 0.2 mm, 全身共 1495 个断面。数字化摄影分辨率为 10 989 056 pixels (4064×2704) 像素, 每个断面图像文件大小为 31.4 MB, 整个解剖切片数据集大小为 46.943 GB。重建的心脏模型可以局部或整体多角度显示, 与 CT 重建图像高度一致。 **结论** 所得数字化单心室胎儿人体结构数据集为整个标本的连续断面, 无节段性数据缺损, 且伴有复杂心脏畸形, 对心脏外科及临床医学影像学教学均具有重要意义。

[基金项目] 第三军医大学临床研究项目(2011XLC43)。

[作者简介] 任冰(1984—), 女, 吉林吉林人, 在读硕士。研究方向: 胎儿超声心动图的临床与基础研究。E-mail: 523475048@qq.com

[通讯作者] 夏红梅, 第三军医大学新桥医院超声科, 400037。E-mail: xiahm985206@126.com

[收稿日期] 2012-10-24 **[修回日期]** 2012-12-23

[关键词] 心血管畸形; 胎儿; 解剖学, 横断面; 数字化; 三维重建

[中图分类号] R445; R322.34 [文献标识码] A [文章编号] 1003-3289(2013)04-0646-05

目前出生缺陷(birth defect, BD)已成为婴儿死亡、儿童和成人残疾的主要原因之一^[1-2]。我国是 BD、残疾高发国家,每年有 30 万~40 万名婴儿患有严重 BD^[3],严重影响我国出生人口素质,已逐渐成为我国的主要公共卫生问题之一。开展胎儿产前超声检查是产前监测、预知胎儿健康的重要组成部分,其对胎儿结构全面、系统评价的准确性有赖于超声医师切实掌握胎儿解剖结构。数字化可视人体研究是 20 世纪后期兴起的新兴前沿学科,是将数以千计的人体横断面数据信息在计算机里整合,重建成人三维立体结构图像,为开展各类人体相关研究提供形象而真实的模型,在临床影像医学和解剖学教学方面具有广泛的应用前景。张绍祥等^[4-6]自 2002 年相继完成了中国首例成年男性和女性数字化可视人体数据集的采集和可视化研究。本课题组在此基础上,于 2011 年 4 月完成了伴有单心室及主动脉缩窄等心脏复杂畸形胎儿人体结构数据集采集和心脏数字化三维重建,现报道如下。

1 资料与方法

1.1 资料 2011 年 1 月于第三军医大学新桥医院妇产科引产的孕 35 周女性胎儿 1 胎,经产前超声诊断为单心室伴主动脉重度缩窄,属复杂心脏畸形,胎儿父母选择终止妊娠,引产后胎儿尸体质量 2650 g。本研究已获家属捐献同意签字及新桥医院伦理委员会论证授权。

1.2 数据集采集 标本经 GE LightSpeed 64 排螺旋

CT、Philips Achieva 3.0 TX MR 扫描并经肉眼观察后,以 5% 绿色明胶包埋,置入 -30℃ 冰库中冰冻 1 周,在 -25℃ 低温实验室中用 TK-6350 型数控铣床(铣切精度为 0.001 mm)从头至足逐层铣切^[4],同时用 Canon 高清晰度数码相机摄影,得到胎儿人体结构数据集。

1.3 图像分割与三位重建 依编号顺序选取胸部区域连续薄层断层图像,通过前后图像的联系和毗邻关系,辨别每幅图像上出现的组织结构名称,统计每个结构跨越图像的编号范围,对心脏及心底部大血管每一结构赋予不同的红、绿、蓝颜色及红、绿、蓝颜色数值(R、G、B),进行图像分割(表 1)。选用 Visage Imaging 的 Amira 软件进行胎儿心脏数字化三维重建。

拟合重建的心脏各解剖结构的三维图像,并根据各解剖结构的复杂程度对模型进行相应简化和平滑。以导入方式将包含心脏各解剖结构的数据文件导入处理软件,创建心脏整体、左心房、右心房、单心室、升主动脉及主动脉弓部分支、肺动脉及左右分支、降主动脉与动脉导管等结构的三维立体结构。在 SGI 图形工作站的 3D 空间中任意进行多角度旋转、平移、缩放、切割心脏三维模型,用屏幕采集软件获取 ROI 的图像,存储格式为 jpg 格式。

2 结果

2.1 数字化数据集 CT 扫描层厚 0.625 mm;MR 扫描层厚 3 mm;连续解剖横断面层厚 0.2 mm,全身共计

表 1 胎儿心脏各结构图像分割数据信息表

结构名称	填充颜色	R	G	B	图片始末张数
主动脉升部及弓部	红色	243	9	9	0593~0648
无名动脉	粉红	247	60	210	0562~0593
左颈总动脉	橘红色	245	98	9	0562~0593
左锁骨下动脉	紫色	184	68	244	0575~0651
降主动脉	暗红色	163	20	23	0660~0775
肺动脉及分支	蓝色	56	56	244	0627~-0680
动脉导管	蓝色	56	56	244	0631~0661
上腔静脉	绿色	0	122	80	0591~0673
无名静脉(左支)	黄色	228	215	0	0562~0592
头臂静脉(右支)	浅绿色	125	186	37	0571~0592
下腔静脉	草绿色	35	173	61	0752~0755
左心房	粉红色	243	162	223	0629~0749
右心房	深紫色	109	12	165	0601~0764
单心室内膜面	酒红色	117	7	28	0628~0757
心外膜面	天蓝色	34	188	255	0611~0781

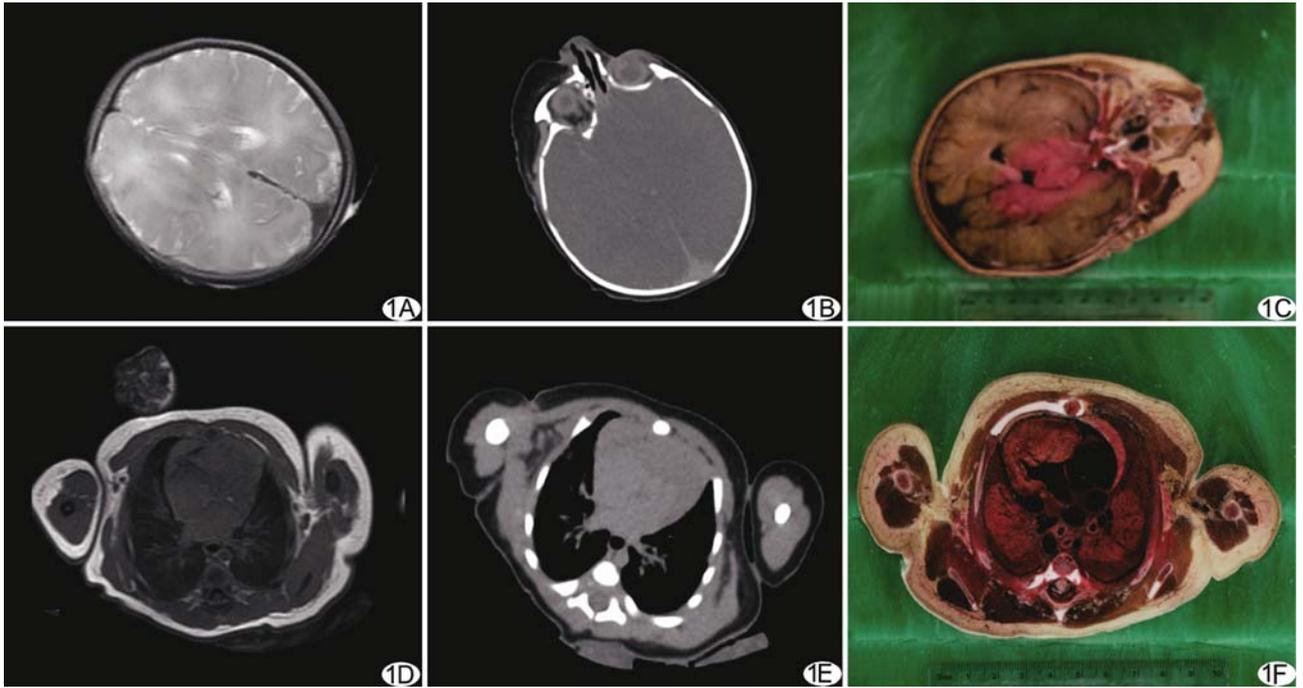


图 1 胎儿头部及胸部图像 A. 头部 MRI(层厚 3 mm); B. 头部 CT(层厚 0.625 mm); C. 头部解剖薄层断面图像(层厚 0.2 mm); D. 胸部 MRI(层厚 3 mm); E. 胸部 CT(层厚 0.625 mm); F. 胸部解剖薄层断面图像(层厚 0.2 mm)

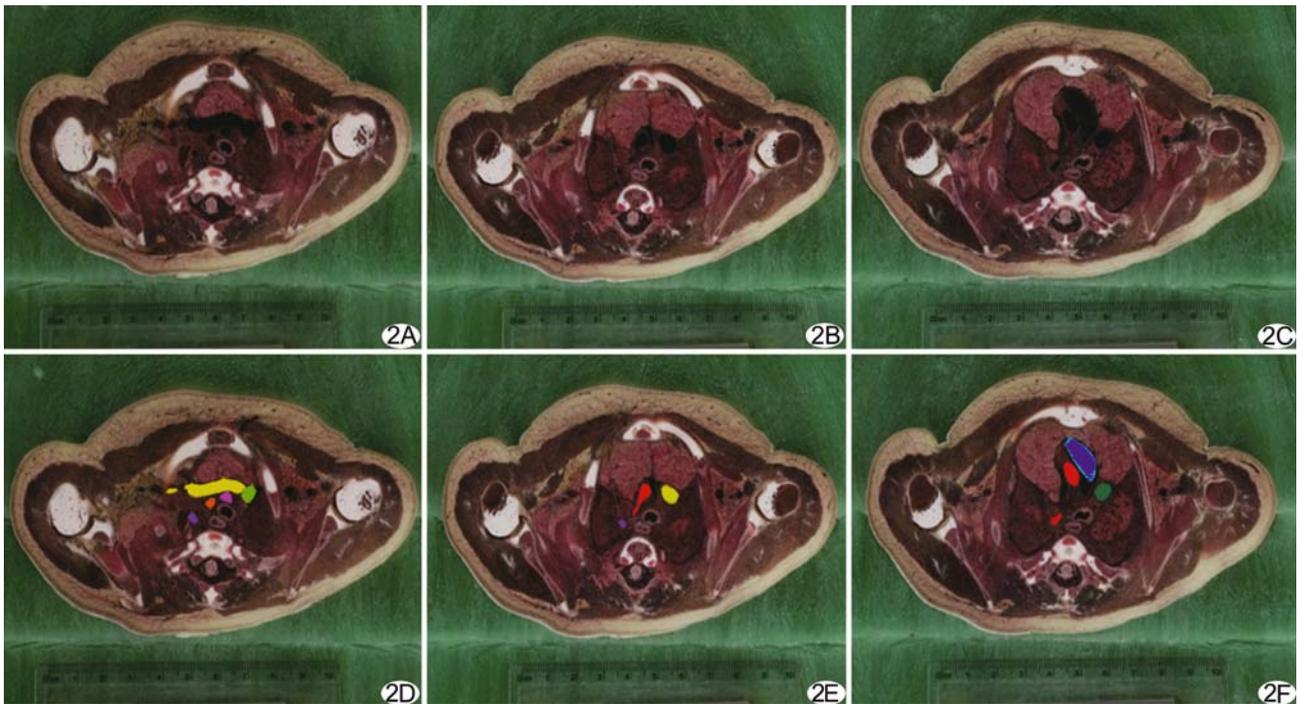


图 2 心底部薄层解剖断面图像(A~C,层厚 0.2 mm)及心底部区域各结构图像分割(D~F)

1495个解剖断面(图 1)。数字化摄影分辨力为 10 989 056 pixels (4064×2704)像素,每个断面图像文件大小为 31.4 MB,整个数据集大小为 46.943 GB。

2.2 心脏图像分割与三维重建 选取胸部区域连续

薄层断层图像共 235 个,编号 0562~0781,共计 220 幅,断层间距为 0.2 mm。对心脏各腔室及心底部大血管图像分割及后处理见图 2、3。重建的心脏及大血管模型可以以局部、小组或整体多角度清晰显示,与

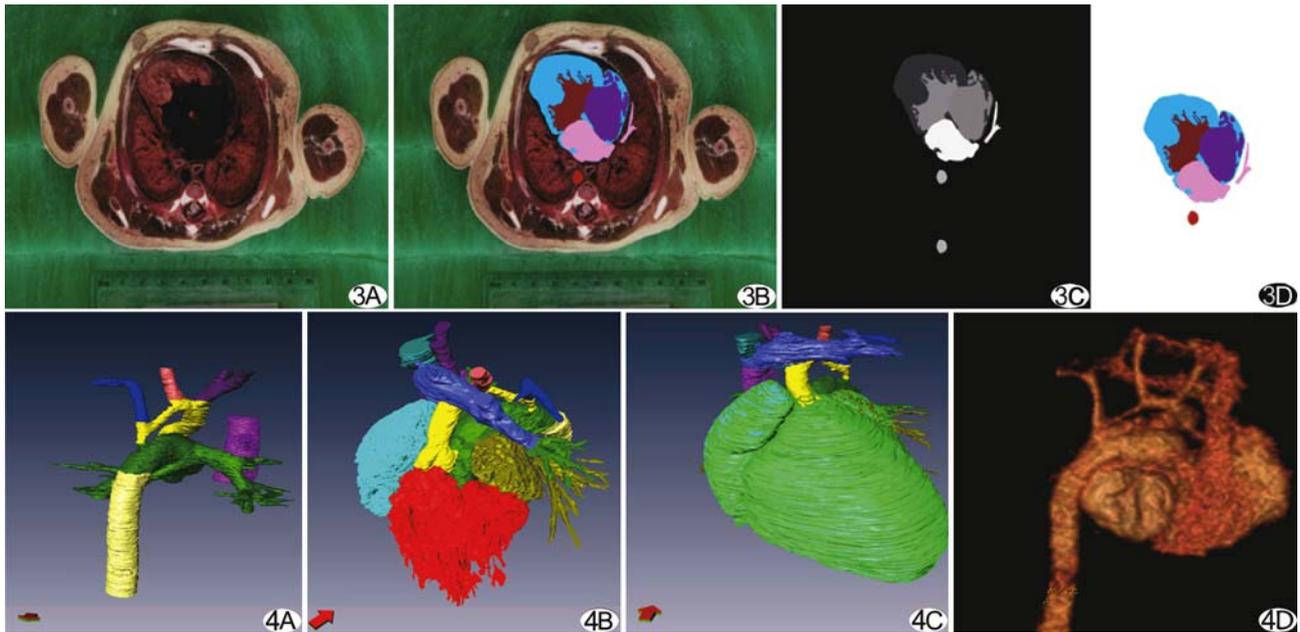


图 3 四腔心切面薄层解剖断面图像(A,层厚 0.2 mm)及心腔内各结构区域图像分割与后处理(B~D),提示单心室结构 图 4 重建的心脏及大血管模型,可以局部(A,主动脉弓自左颈总动脉以远明显狭窄)、小组(B,心内膜面重建图像显示双心房与单心室)或整体多角度清晰显示(C,心外膜面重建图像显示右心耳增大及心室外观异常),与 CT 重建的心脏影像高度一致(D)

CT 重建的心脏影像高度一致(图 4),像素为 $1089 \times 963 \times 24$ b,文件大小为 88 ~ 180 KB,数据量为 193 MB。

3 讨论

随着超声技术的迅速发展,产前超声检查以其无创、可重复、结果可靠等优势,成为胎儿产前筛查最常用、最有效的方法,日趋受到临床重视。产前超声检查发现胎儿发育异常,可为临床早期宫内干预提供直接依据。但是,有关胎儿解剖的基础教育还很欠缺。为此,加快我国胎儿数字化人体数据的开发应用,建立一个基于普通计算机的虚拟环境和全数字化的胎儿人体三维解剖结构模型是极其必要的。

数字化人体研究是现代医学和数字化高新技术及生命科学和信息科学相结合的一个崭新的研究领域。其发展历程分为 4 个阶段,分别是数字化可视人体、数字化物理人体、数字化生理人体和数字化智能人体^[7]。目前数字化人体的研究还处于数字化可视人体和数字化物理人体的阶段。数字化可视人体模型在医学领域具有广泛的研究价值和应用价值^[8],但其重建系统属于前期条件要求高、综合性强的高新信息技术,在医学教学领域中的应用还十分有限。胎儿产前超声筛查要求检查者熟练掌握胎儿各组织脏器的解剖结构。但是,由于临床教学标本来源匮乏,初学者缺乏参与胎儿尸体解剖学习的机会,对其了解有限。为解决此类问

题,拓展超声医师在胎儿解剖结构方面的基础知识,本研究重建了胎儿数字化心脏三维立体模型。

组织器官的分割与提取是图像三维重建及可视化技术能准确表达相应组织器官的前提。图像分割是实现组织器官图像三维重建的基础,其准确程度直接影响后续三维重建模型的精度。本研究目的是在完成胎儿人体数据集的基础上重建畸形的胎儿心脏三维模型。研究小组首先充分熟悉了该病例的产前超声影像、钜切前的 CT 与 MR 图像及 CT 重建图像,然后对胸部区域的切片图像数据进行相关结构的组织分割,成功得到相应的组织器官轮廓。

另外,大量数据的处理是伴随数字人体研究不断提高精确度时要解决的另一个关键技术。在数字化人体研究中,数据量大、层次关系多、数据实体复杂,如何进行无损或微损的数据压缩处理是发展数字化可视人体所要解决的重要问题之一^[9]。可视化人体研究目的已经不仅仅是获取高清晰度人体可视化彩色图像,而是利用这些影像数据和三维的方式、依托于计算机,模拟真实的人类生理功能^[10]。目前用于数字化三维重建的软件种类繁多,常见的图像处理软件和建模软件包括 Photoshop、马雅人或 3DSMax 重建软件^[11]。本研究选用由澳大利亚 Visage Imaging 公司出品的 Amira 软件,该软件可对数据进行可视化处理并操纵控制,能够完成 CT、MR、PET、SPECT、超声、光学和

电子显微镜图像数据的表面建模及各种物理测量和模拟,同时可以识别生命科学和生物医学数据的来源类型。运用 Amira 软件对导入 SGI 图形工作站的灰度图像叠加数字化三维重建,完成面绘制重建与体绘制重建,可将数字化三维立体胎儿心脏模型在三维空间中任意进行多角度旋转、平移、缩放、切割,单组或多组显示心脏结构。

本课题组所建立的数字化三维立体胎儿心脏模型是以不同结构不同颜色的多彩三维立体模型方式显示,其中任何结构都可从数字化三维立体胎儿心脏模型中独立出来,再对其进行任意角度旋转和精细观察,留取 ROI 图像资料。本研究所采集的心脏复杂畸形胎儿数字化人体结构数据集来自胎儿整个标本的连续断面,无节段性数据缺损的薄层断层图像数据,图像清晰,色彩鲜明,层次感强,清晰明确地显示了组织结构及毗邻关系,支持在 ROI 区自行放大或缩小来观察组织结构,图像连续性强,可连续跟踪观察脏器结构,结合数字化三维立体胎儿心脏模型,可使学习者对组织脏器获得立体全面的认识。

[参考文献]

- [1] 曹泽毅. 中华妇产科学. 2 版. 北京: 人民卫生出版社, 2004: 746-750.
- [2] 张玉霞, 战燕, 彭卫焕, 等. 胶州市婚前医学检查与出生缺陷发生率关系研究. 中国妇幼保健, 2005, 20(9): 1148-1150.
- [3] 岑汉群, 苏丽. 婚前医学检查与围产儿出生缺陷. 海南医学, 2005, 16(7): 164-168.
- [4] 张绍祥, 刘正津, 谭立文, 等. 首例中国数字化可视人体完成. 第三军医大学学报, 2002, 24(10): 1231-1232.
- [5] 单锦露, 王阁, 王东, 等. 基于数字化可视人的医学图像融合研究. 中国医学影像技术, 2009, 25(1): 141-144.
- [6] 谭立文, 张绍祥, 宋林, 等. 基于 VRML 的数字化喉模型的虚拟仿真解剖. 第三军医大学学报, 2009, 31(22): 2210-2213.
- [7] 钟世镇, 张绍祥, 欧阳钧. 数字解剖学有待开拓完善的新兴分支学科. 解剖学杂志, 2007, 30(6): 669-672.
- [8] 钟世镇, 李华, 林宗楷, 等. 数字化虚拟人背景和意义. 中国基础科学, 2002(6): 12-16.
- [9] 钟世镇. 从数字人到数字医学. 医学研究杂志, 2009, 38(8): 1-2.
- [10] Li XN, Jie S, Cao YJ. VR kidney for serially sectioned image processing and 3D reconstruction by using visible Korean human data set. Proc Environ Sci, 2011, 8: 240-247.
- [11] Shin DS, Chung MS, Lee JW, et al. Advanced surface Reconstruction technique to build detailed surface models of the liver and neighboring structures from the Visible Korean Human. J Korean Med Sci, 2009, 24(3): 375-383.

使用阿拉伯数字和汉字数字的一般原则

根据 GB/T 15835《出版物上数字用法的规定》

(1) 在统计图表、数学运算、公式推导中所有数字包括正负整数、小数、分数、百分数和比例等,都必须使用阿拉伯数字。

(2) 在汉字中已经定型的词、词组、成语、缩略语等都必须使用汉语数字,例如:一次方程、三维超声、二尖瓣、法洛四联症、星期一、五六天、八九个月、四十七八岁等。

(3) 除了上述情况以外,凡是使用阿拉伯数字而且又很得体的地方,都应该使用阿拉伯数字。遇到特殊情况时,可以灵活掌握,但应该注意使全篇同一。

(4) 如果数字的量级小于 1 时,小数点前面的零(0)不能省去,如 0.32 不能写成.32。