

放射肿瘤学专题

• 放射技术 •

等中心位置的选择对肺癌 SBRT 验证计划 Gamma 通过率的影响

伍然, 赵红光, 魏环海, 郑子龙, 苏斌[△]

200433 上海, 同济大学附属上海市肺科医院 放疗科

[摘要] 目的: 研究肺癌立体定向放射治疗 (stereotactic body radiotherapy, SBRT) 计划设计过程中, 等中心位置的选择对验证计划 Gamma 通过率的影响。方法: 选取 2018 年 11 月至 2019 年 3 月间的 13 例肺部 SBRT 病例, 分别通过 Pinnacle 9.10 计划系统设计两个对应不同等中心的 SBRT 计划, 其中 A 组的 13 例计划等中心选在计划靶区 (planning target volume, PTV) 的中心, B 组的 13 例计划等中心选在 CT 模拟定位的中心, 并分别制作对应的验证计划共 26 例, 通过 MapCheck 分析软件分别采用 3%/2 mm 和 2%/2 mm 的 Gamma 通过率标准对这 26 例验证计划进行评估, 记录 A 组中 SBRT 计划的验证通过率 γ_A 和 B 组中 SBRT 计划的验证通过率 γ_B , 并对以上 Gamma 通过率做统计分析。结果: 当采用 3%/2 mm 的 Gamma 通过率标准时, γ_A 为 99.32% \pm 0.68%, γ_B 为 95.07% \pm 2.09%, γ_A 与 γ_B 差异具有统计学意义 ($t=7.128$, $P<0.001$); 当采用 2%/2 mm 的 Gamma 通过率标准时, γ_A 为 97.88% \pm 2.04%, γ_B 为 87.71% \pm 5.47%, γ_A 与 γ_B 差异具有统计学意义 ($t=5.733$, $P<0.001$)。结论: 等中心位置的选择不同影响了肺部 SBRT 验证计划 Gamma 通过率, 且当采用更严格的通过率标准时, 影响更显著。

[关键词] 肺癌; 立体定向放疗; 放疗计划验证; Gamma 通过率

[中图分类号] R730.55 [文献标志码] A doi:10.3969/j.issn.1674-0904.2021.01.010

引文格式: Wu R, Zhao HG, Wei HH, et al. Effect of isocenter position on Gamma pass rate in the verification plan of SBRT for lung cancer [J]. J Cancer Control Treat, 2021, 34(1): 59-63. [伍然, 赵红光, 魏环海, 等. 等中心位置的选择对肺癌 SBRT 验证计划 Gamma 通过率的影响 [J]. 肿瘤预防与治疗, 2021, 34(1): 59-63.]

Effect of Isocenter Position on Gamma Pass Rate in the Verification Plan of SBRT for Lung Cancer

Wu Ran, Zhao Hongguang, Wei Huanhai, Zheng Zilong, Su Bin

Department of Radiation Oncology, Shanghai Pulmonary Hospital Affiliated to Tongji University, Shanghai 200433, China

Corresponding author: Su Bin, E-mail: sz111130@163.com

[Abstract] **Objective:** To study the effect of isocenter position on Gamma pass rate in the verification plan of stereotactic body radiotherapy (SBRT) for lung cancer. **Methods:** 13 patients undergoing SBRT from November 2018 to March 2019 were selected. Two SBRT plans with different isocenters were created for each patient using Pinnacle 9.10. The center of planning target volume was chosen as the isocenter for the 13 cases in Group A, and the CT simulation center was chosen as the isocenter in Group B. The verification plans were created for 26 cases. 3%/2 mm and 2%/2 mm were used as criteria for evaluating the 26 cases by using the MapCHECK software. The Gamma pass rates were measured and recorded as γ_A in Group A, and were recorded as γ_B in Group B. **Results:** With the criterion of 3%/2 mm, γ_A was 99.32% \pm 0.68%, and γ_B was 95.07% \pm 2.09%. The difference between γ_A and γ_B was significant ($t=7.128$, $P<0.001$). With the criterion of 2%/2 mm, γ_A was 97.88% \pm 2.04%, and γ_B was 87.71% \pm 5.47%. The difference between γ_A and γ_B was significant ($t=5.733$, $P<0.001$). **Conclusion:** The difference in the choice of isocenter position has a noticeable influence on Gamma

pass rate in the verification plan of SBRT for lung cancer. The stricter the criterion is, the more significant the influence is.

[收稿日期] 2020-10-23 [修回日期] 2020-12-16

[通讯作者] [△]苏斌, E-mail: sz111130@163.com

[Key words] Lung cancer; Stereotactic body radiotherapy;

Radiotherapy plan verification; Gamma pass rate

体部立体定向放射治疗(stereotactic body radiotherapy, SBRT)已广泛应用于早期肺癌患者的治疗当中^[1],虽然目前还存有争议,但是 SBRT 技术在早期肺癌治疗中的临床应用,已经开始显现出取代手术治疗的趋势^[2]。SBRT 技术由于其高精度、高分次剂量、高治疗增益比及靶区周围剂量低的特点^[3-4],越来越受到临床医生的青睐。但是 SBRT 技术在采用更高的单次剂量治疗肿瘤的同时,也存在比普通调强放射治疗更大的风险,因此患者治疗前需要剂量验证来确保其受到准确的剂量照射^[5-6]。Gamma 分析法是普遍应用于放射治疗计划验证的方法,其包含百分剂量差异、一致性距离以及 Gamma 通过率 3 个参数^[7]。本研究选取了 13 例肺部 SBRT 病例,按照分组原则选择对应的等中心位置,分别设计放疗计划并通过 MapCheck 软件对剂量验证结果进行分析统计,探讨等中心位置的选择对剂量验证结果的影响。

1 资料与方法

1.1 患者体位固定与 CT 扫描

本研究选取 2018 年 11 月至 2019 年 3 月间在上海市肺科医院接受 SBRT 治疗的 13 例肺癌患者,采用仰卧位双臂上举并使用真空负压袋固定体位,平静呼吸状态下螺旋 CT 模拟机(GE Lightspeed RT)行 4D 平扫或增强扫描,扫描范围包括第 4 颈椎上缘到第 2 腰椎下缘,层厚 2.5 mm。扫描图像通过网络传输至 rtStation 医生工作站,进行靶区和危及器官,包括脊髓、两侧肺、气管、胸壁、臂丛神经、心脏和食管等的勾画。医生勾画完成之后再通过网络传输至 Pinnacle 9.10 计划系统中。

1.2 患者的计划设计

对每例患者分别以两个不同的等中心位置进行 SBRT 计划设计,计划设计采用 Step & Shoot MLC 静态调强模式,同一患者的两个 SBRT 计划,采用完全相同的射野角度及相关参数。其中等中心选在计划靶区(planning target volume, PTV)中心的 13 例计划分入 A 组,等中心选在 CT 模拟定位中心的 13 例计划分入 B 组。PTV 处方剂量为 50 Gy,照射次数为 5 次,生物等效剂量为 100 Gy,双肺 $V_{20} < 10\%$,气管和支气管 $D_{\max} < 40$ Gy;脊髓 $D_{\max} < 28$ Gy,食管 $D_{\max} < 35$ Gy,心脏 $D_{\max} < 38$ Gy,臂丛神经 $D_{\max} < 32$ Gy,胸壁 $V_{50} < 2$ cm³,计算网格边长为 2 mm。

1.3 验证计划设计及剂量测量

使用 Pinnacle 9.10 计划系统创建平面剂量验证计划,将 A 组及 B 组共 26 个 SBRT 计划的射野机架角度、准直器角度和治疗床角度都设置为 0 度,然后移植到验证模体上,完成各射野的剂量计算,并导出所有射野在 MapCheck2 二维半导体矩阵测量中心层面的剂量分布文件。通过 PTW 公司的 QUICK-CHECK webline 晨检仪对加速器进行检测,出束 100 MU,射野大小 10 cm × 10 cm,测量等中心绝对剂量,射野平坦度和对称性以及射线能量,确认晨检仪读数符合临床要求后,将 MapCheck2 及固体水模体在加速器治疗床上进行摆位,测量中心与加速器等中心重合,机架角设置为 0 度。进行仪器预热归零消除本底,然后加速器出束并进行剂量测量。

1.4 验证结果分析

通过 MapCheck 分析软件,按照 Gamma 分析法将导出的平面剂量分布与实际测量的剂量分布进行比较。首先采用国际上最新的 Gamma 通过率推荐标准 3%/2 mm^[8],分别对 A 组 13 例验证计划和 B 组 13 例验证计划的实际测量值与计划系统导出值进行比较,记录此时的 A 组的 Gamma 通过率值为 γ_A , B 组的 Gamma 通过率值为 γ_B 。然后改为采用 2%/2 mm 的通过标准,重复以上步骤,分别记录 A、B 两组验证计划的 Gamma 通过率 γ_A 与 γ_B 。

1.5 统计学处理

采用 SPSS 19.0 统计软件进行数据处理。分别计算采用 3%/2 mm 和 2%/2 mm 的通过标准时, A 组验证计划的 Gamma 通过率 γ_A 的平均值和 B 组验证计划的 Gamma 通过率 γ_B 的平均值。采用 *t* 检验分析 A 组的 Gamma 通过率值 γ_A 与 B 组的 Gamma 通过率值 γ_B 的差异, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

采用 Mapcheck 分析软件对测量数据进行分析处理,以其中 1 例患者的验证计划为例,处理结果界面如图 1 所示,界面上半部分为等中心选在 PTV 中心的验证计划分析结果:当采用 3%/2 mm 的通过标准时, Gamma 通过率为 100%,当采用 2%/2 mm 的通过标准时, Gamma 通过率为 100%;界面下半部分为等中心选在 CT 模拟定位中心的验证计划分析结果:当采用 3%/2 mm 的通过标准时, Gamma 通过

率为 97.6%, 当采用 2%/2 mm 的通过标准时, Gamma 通过率为 90.6%。

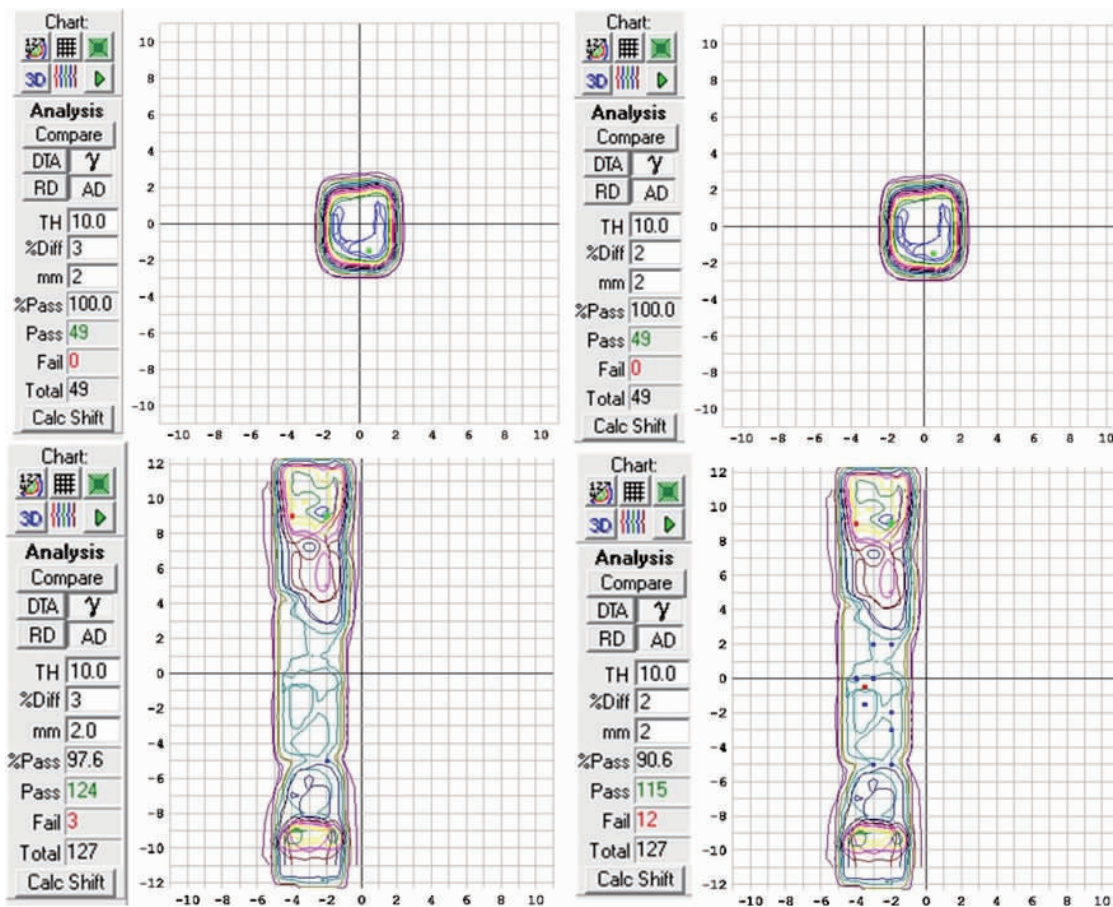


图 1 Mapcheck 分析软件中的处理结果示意图
Figure 1. Results of the MapCHECK Software

采用相同步骤对所有 13 例患者的验证计划分别进行测量分析,记录 Gamma 通过率结果并使用 SPSS 19.0 统计软件对所有数据进行统计学分析。通过统计学分析可知,13 例 SBRT 计划的等中心由 PTV 中心改为 CT 模拟定位的中心后,在其它条件相同的情况下,对剂量验证所得的 Gamma 通过率结果有明显的影 响。当采用 3%/2 mm 的通过标准时,A 组 Gamma 通过率值 γ_A 为 $99.32\% \pm 0.68\%$, B 组 Gamma 通过率值 γ_B 为 $95.07\% \pm 2.09\%$,二者差异具有统计学意义 ($t = 7.128, P < 0.001$),不同的等中心位置对 Gamma 通过率均值影响可达 4.25%;当采用更为严苛的 2%/2 mm 通过标准时, A 组 Gamma 通过率值 γ_A 为 $97.88\% \pm 2.04\%$, B 组 Gamma 通过率值 γ_B 为 $87.71\% \pm 5.47\%$,二者差异具有统计学意义 ($t = 5.733, P < 0.001$),不同的等中心位置对 Gamma 通过率均值影响更加明显,可达 10.17% (表 1)。

表 1 分别采用不同通过标准时的 Gamma 通过率 (%)
Table 1. Gamma Pass Rates in Different Criteria

Variable	3%/2 mm		2%/2 mm	
	γ_A (%)	γ_B (%)	γ_A (%)	γ_B (%)
1	100.00%	97.60%	100.00%	90.60%
2	99.30%	92.90%	99.30%	91.70%
3	99.80%	93.10%	98.70%	91.80%
4	100.00%	94.20%	99.70%	90.20%
5	98.30%	95.30%	95.80%	81.30%
6	100.00%	91.90%	100.00%	78.50%
7	98.40%	96.30%	94.70%	89.70%
8	99.30%	97.90%	97.90%	91.90%
9	99.10%	95.10%	97.90%	85.10%
10	98.10%	93.20%	96.10%	88.60%
11	99.50%	94.50%	99.30%	85.00%
12	99.30%	95.20%	98.90%	79.30%
13	100.00%	98.70%	94.10%	96.60%
t	7.128		5.733	
P	<0.001		<0.001	

The center of planning target volume was chosen as the isocenter in Group γ_A , while the CT simulation center was chosen as the isocenter in Group γ_B .

3 讨论

随着近年来放射治疗进入到精确放疗时代, Paudel 等^[9]的研究表明,在 Gamma 通过率过低的情况下,无法保证放疗计划和加速器出束的剂量一致性,结合 SBRT 具有的高分次剂量、高剂量梯度、高剂量率等特点,在对 SBRT 计划进行剂量验证时,对验证条件和验证设备的要求也更高^[10]。

与以往电离室结合胶片进行剂量测量的验证方法相比,二维电离室矩阵测量更加便捷,同时也是目前临床常用的剂量验证方法。以 MapCheck2 二维电离室矩阵及其相关分析软件所组成的剂量测量系统在许多医院得到了广泛的应用,其具有能量响应度好、灵敏度高的优势,能迅速、准确地测量剂量分布并显示测量结果,因而成为了直线加速器放疗计划剂量验证的常用测量工具之一^[11-12]。

在本研究中,等中心位置的不同,直接对 SBRT 验证计划的 Gamma 通过率产生了影响。当采用 3%/2 mm 的通过标准时,等中心选在 PTV 中心的 A 组 Gamma 通过率值 γ_A 为 99.32% \pm 0.68%,等中心选在 CT 模拟定位中心的 B 组 Gamma 通过率值 γ_B 为 95.07% \pm 2.09%。虽然在 Gamma 通过率不低于 90% 的标准下,两组验证计划的 Gamma 通过率 γ_A 与 γ_B 均符合临床要求,但等中心选在 PTV 中心的 A 组 Gamma 通过率整体要明显高于等中心选在 CT 模拟定位中心的 B 组 Gamma 通过率 ($t = 7.128, P < 0.001$)。在更严格的 2%/2mm 的通过标准下,等中心选在 PTV 中心的 A 组 Gamma 通过率值 γ_A 为 97.88% \pm 2.04%,等中心选在 CT 模拟定位中心的 B 组 Gamma 通过率值 γ_B 为 87.71% \pm 5.47%,A 组的 Gamma 通过率同样明显高于 B 组的 Gamma 通过率 ($t = 5.733, P < 0.001$)。

在直线加速器中,受束流偏转的作用,准直器、靶和均整器的位置会直接影响加速器的射野离轴剂量分布(包括射野平坦度和射野对称性)^[13]。分析可能产生剂量验证误差的因素,对于日常的剂量验证工作有着重要的临床意义^[14-20]。本研究中 A 组与 B 组计划的实际靶区中心分别位于射野中心轴上(A 组)以及远离射野中心轴(B 组),由两组实验数据之间的统计学差异可以得出加速器的离轴剂量分布是影响 Gamma 通过率的一个重要因素。

综上所述,等中心位置的不同会明显影响验证计划的 Gamma 通过率。结合本研究中 A 组与 B 组计划的实际靶区中心分别位于射野中心轴上(A

组)以及远离射野中心轴(B 组),选择不同的等中心位置,会直接影响验证计划中各个射野的实际出束方向与射野中心轴的相对位置关系,从而通过直线加速器的实际离轴剂量分布使 Mapcheck2 设备中二维半导体矩阵的测量结果受到影响。这些测量结果通过 Mapcheck 分析软件的处理,最终反映在验证计划的 Gamma 通过率上。

作者声明: 本文全部作者对于研究和撰写的论文出现的不端行为承担相应责任;并承诺论文中涉及的原始图片、数据资料等已按照有关规定保存,可接受核查。

学术不端: 本文在初审、返修及出版前均通过中国知网(CNKI)科技期刊学术不端文献检测系统的学术不端检测。

同行评议: 经同行专家双盲外审,达到刊发要求。

利益冲突: 所有作者均声明不存在利益冲突。

文章版权: 本文出版前已与全体作者签署了论文授权书等协议。

[参考文献]

- [1] Ricardi U, Badellino S, Filippi AR. Stereotactic body radiotherapy for early stage lung cancer: History and updated role [J]. Lung Cancer, 2015, 90(3): 388-396.
- [2] Chang JY, Senan S, Paul MA, et al. Stereotactic ablative radiotherapy versus lobectomy for operable stage I non-small-cell lung cancer: A pooled analysis of two randomised trials [J]. Lancet Oncol, 2015, 16(6): 630-637.
- [3] Benedict SH, Yenice KM, Followill D, et al. Stereotactic body radiation therapy: The report of AAPM Task Group 101 [J]. Med Phys, 2010, 37(8): 4078-4101.
- [4] Ruyscher DD, Faivre-Finn C, Nestle U, et al. European organization for research and treatment of cancer recommendations for planning and delivery of high-dose, high-precision radiotherapy for lung cancer [J]. J Clin Oncol, 2010, 28(36): 5301-5310.
- [5] 陈维军, 狄小云. 调强放疗的剂量学验证研究进展 [J]. 肿瘤学杂志, 2011, 17(1): 67-70.
- [6] 邓小武, 黄劭敏, 钟宁山, 等. 调强放射治疗的物理剂量验证 [J]. 癌症, 2001, 20(10): 1092-1094.
- [7] Low DA, Harms WB, Mutic S, et al. A technique for the quantitative evaluation of dose distributions [J]. Med Phys, 1998, 25(5): 656-661.
- [8] Miften M, Olch A, Mihailidis D, et al. Tolerance limits and methodologies for IMRT measurement-based verification QA: Recommendations of AAPM Task Group No. 218 [J]. Med Phys, 2018, 45(4): e53-e83.
- [9] Paudel NR, Narayanasamy G, Han EY, et al. Dosimetric and ra-

- diobiological comparison for quality assurance of IMRT and VMAT plans[J]. J Appl Clin Med Phys, 2017, 18(5) : 237-244.
- [10] Huang JY, Pulliam KB, McKenzie EM, *et al.* Effects of spatial resolution and noise on gamma analysis for IMRT QA[J]. J Appl Clin Med Phys, 2014, 15(4) : 4690.
- [11] 吴翠娥,徐利明. Mapcheck 在调强放疗验证中的应用[J]. 医疗卫生装备, 2009, 30(9) : 79-80.
- [12] 李承军,张爱华,王陆洲,等. Mapcheck 的剂量学质量保证[J]. 中国医学物理学杂志, 2010, 27(3) : 1833-1836.
- [13] Budgett GJ, Zhang R, Mackay RI. Daily monitoring of linear accelerator beam parameters using an amorphous silicon EPID [J]. Phys Med Biol, 2007, 52(6) : 1721-1733.
- [14] Shimizu H, Itano M, Yamazaki T, *et al.* Precision in wedge off-axis using independent dose verification [J]. Igaku Butsuri, 2017, 36(4) : 188-196.
- [15] Jeong S, Yoon M, Kim DW, *et al.* Development of a patient dose verification method that uses the transit dose measured with a glass dosimeter[J]. J Korean Phys Soc, 2017, 70(10) : 948-955.
- [16] Persson M, Nilsson J, Tedgren CA. Experience of using MOSFET detectors for dose verification measurements in an end-to-end ¹⁹²Ir brachytherapy quality assurance system [J]. Brachytherapy, 2018, 17(1) : 227-233.
- [17] Biasi G, Petasecca M, Guatelli S, *et al.* A novel high-resolution 2D silicon array detector for small field dosimetry with FFF photon beams [J]. Phys Med, 2018, 45 : 117-126.
- [18] Xie K, Sun HF, Lin T, *et al.* IMRT dose verification considering passing rate and respiratory motion [J]. Oncol Lett, 2018, 16(1) : 963-969.
- [19] Nyflot MJ, Thammasorn P, Wootton LS, *et al.* Deep learning for patient-specific quality assurance: Identifying errors in radiotherapy delivery by radiomic analysis of gamma images with convolutional neural networks [J]. Med Phys, 2019, 46(2) : 456-464.
- [20] Wootton LS, Nyflot MJ, Chaovalitwongse WA, *et al.* Error detection in intensity-modulated radiation therapy quality assurance using radiomic analysis of gamma distributions [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2018, 102(1) : 219-228.



· 读者 · 作者 · 编者 ·

英文摘要的定义及其特点

摘要 (abstract) 是现代科技论文中必不可少的内容, GB/T6447 - 1986《文摘编写规则》对摘要的定义为: 文摘是“以提供文摘内容梗概为目的, 不加评论和补充解释, 简明、确切地记叙文献重要内容的短文”。英文摘要作为科技论文的重要组成部分, 有其特殊的意义和作用, 它是国际间知识传播、学术交流与合作的桥梁和媒介, 尤其是目前国际上各主要检索机构的数据库对英文摘要的依赖性很强; 因此, 好的英文摘要对于增加期刊和论文的被检索和引用机会、吸引读者、扩大影响起着不可忽视的作用。

摘要是论文主体的高度浓缩, 它应该能提炼论文的主要观点, 简明地描述论文的内容和规范, 简短地进行概括和总结。

英文摘要的基本特点

- 1) 通常为一段, 应统一、连贯、简明、独立;
- 2) 应顺序体现论文的目的、方法、结果、结论和建议等;
- 3) 各个部分之间的联系和转换逻辑上要严谨;
- 4) 不能添加论文涉及范围以外的新的信息, 但可以总结本文;
- 5) 能被更加广泛的读者所理解;
- 6) 通常用被动语态, 弱化作者, 强化信息。

英文摘要的可能用途

- 1) 作者在准备一篇论文的时候会自己或要求其助手为他从不同水平的期刊摘取相关论文的摘要, 供其快速决定是否需要阅读其全文;
- 2) 读者通常先阅读摘要, 然后判断是否值得花费时间阅读全文;
- 3) 图书馆采购人员通过摘要对期刊或系列读物内容得出一个总体判断;
- 4) 一些组织或会议的报纸也会为其会员提供有关的文章摘要。