

广西乐业大石围大型岩溶漏斗的形成特征*

Formation of the World largest Doline or Karst Funnel in Dashiwei of Leye County, Guangxi

张美良

谢运球

姚梦琴**

岑仕高**

Zhang Meiliang

Xie Yunqiu

Yao Mengqin

Cen Shigao

(中国地质科学院岩溶地质研究所 桂林 541004)

(Institute of Karst Geology, CAGS, Guilin, Guangxi, 541004, China)

摘要 大石围大型岩溶漏斗位于云贵高原南缘的桂西北边陲的岩溶斜坡地带。红水河右岸百郎地下河上游的高楼至韩家沟风岩洞地下河支流的中段。地面标高 1 000 m~ 1 500 m, 漏斗口直径为 500 m× 380 m, 口部面积为 $1.4 \times 10^5 \text{ m}^2$, 底部直径为 200 m× 100 m, 底部面积 20 000 m^2 , 总容积为 $3 \times 10^7 \text{ m}^3 \sim 5 \times 10^7 \text{ m}^3$ 。其深度和容积在世界同类大型岩溶漏斗中位居第 5 位或是中国的第 3 位。研究表明, 区域构造或垂向深切“X”型共轭节理、裂隙, 对岩溶漏斗周边岩壁的崩塌和平行后退起着至关重要的作用; 而第四纪以来的大幅度抬升, 是造成岩溶向纵深发育或漏斗深切作用的主要原因。大石围岩溶漏斗是地表和地下岩溶的长期共同作用, 逐渐崩塌, 扩大其容量和增加其深度而实现的。

关键词 大型岩溶漏斗 形态特征 形成条件 形成原因

中图法分类号 P 931.5

Abstract The largest doline or karst funnel of Dashiwei is situated at the karst slope zone of the northwest Guangxi in the southern of Yunnan and Guizhou plateau. It is the middle section of the underground branch stream from Gaolou to Huanjiagou Fengyan cave in the upper reaches of Bailang underground river in the right bank of the Hongshuihe River. The height above ground level is from 1000 m to 1500 m in the karst area. The upper diameter of karst doline or funnel is 500 m multiplied by 380 m. The upper area of karst doline or funnel is $1.4 \times 10^5 \text{ m}^2$. The bottom diameter of karst funnel is 200 m multiplied by 100 m. The bottom area of karst funnel is 20 000 m^2 . The total volume of karst funnel is from $3 \times 10^7 \text{ m}^3$ to $5 \times 10^7 \text{ m}^3$. Dashiwei largest doline or karst funnel is the fifth of the world or the third of China in the depth and volume. The studies show that the regional tectonics or the vertical deep dissection of the X-type conjugate joints and fissures play important role in the formation of collapse and parallel back for around rock cliffs of karst doline; The great uplift since Quaternary, however, resulted in the main reason of the vertical development and deep dissection of karst doline. The Dashiwei karst doline was the result of the cooperation of the surface karst and underground karst with the collapse continued, space enlarged and depth increased.

Key words largest doline or karst funnel, forming characteristic, forming condition, forming reason

大石围大型岩溶漏斗, 四周壁均为陡崖峭壁所包围, 因此, 当地群众称之为“大石围”。大石围大型岩溶漏斗位于云贵高原南缘的桂西北边陲的岩溶斜坡地带, 乐业县同乐镇刷把村白岩脚屯 (东距县城 19 km) 地处红水河右岸百郎地下河上游的高楼至韩家沟风岩洞地下河支流的中段, 为典型的高峰丛洼地地貌类型。地面标高 1 000 m~ 1 500 m, 地势由南向北

逐渐降低, 构成南高、北低的山川格局

1 大石围大型岩溶漏斗的形态特征及规模

大石围大型岩溶漏斗发育于下二叠统栖霞阶和茅口阶深灰色、灰色、灰白色, 厚层、中厚层泥亮晶灰岩、生物屑灰岩中, 岩层倾向北西 (300°), 倾角 $\beta \sim 20^\circ$ 不等。大石围的形态为不规则漏斗, 漏斗上口为椭圆形, 周壁陡峭, 异常险峻。岩溶漏斗的东 (蚂蜂山) 西两侧为高耸的石峰, 呈崎角对峙, 南北两侧的山坳平台为早期洼 (或谷) 地, 海拔标高 1 260 m 和 1 250 m。西面石 (山) 峰海拔标高 1 466 m, 向洞一

1999-10-21 收稿, 2000-01-17 修回。

* IGCP379 国家自然科学基金资助项目 (49632100)

** 广西乐业县旅游局, 广西乐业, 533200 (Tourist Bureau of Leye County, Tongle, Leye, Guangxi, 533200, China)

侧,却是壁立万仞,如刀切削,至漏斗底深达 566 m 东面的蚂蜂山石峰海拔标高 1 446 m,上半部是陡崖峭壁,大致在海拔 1 380 m~ 1 340 m 标高的陡壁有蚂蜂洞穿洞,下半部呈 50°~ 70°的陡倾斜状至漏斗底深 546 m 东西两峰之间漏斗口长轴直径约 500 m,深度为 546 m~ 566 m 南北(水晶坳)两山坳之间漏斗短轴直径为 380 m,从漏斗口 1 250 m 标高至底部 900 m 标高,深达 350 m,至西侧地下河道标高 850 m,深达 397 m 其中在漏斗北侧陡壁的 1 180 m 和 1 120 m 标高两处有向中部收缩的平台(图 1) 漏斗底部为倾斜状,东西长轴约 200 m,南北短轴约 100 m 洞底西侧有一高 30 m,宽 20 m,长 80 m 的倾斜洞穴与地下

河相通

据漏斗周缘峭壁,海拔高程 1 400 m 1 350 m 1 250 m~ 1 200 m 残存的洞穴及 1 180 m 和 1 120 m 残存的小平台及残存的洞穴沉积物,显示大石围大型岩溶漏斗,在垂向上具 3 层或多层结构,具层楼式特征 在深度上,若以东(蚂蜂山)西两山峰高程计算,漏斗深达 546 m;若以南北两坳口高程计算,漏斗深 > 350 m,至底部地下河,深达 397 m 在规模上,漏斗口直径为 500 m× 380 m,口部面积为 140 000 m²,底部直径为 200 m× 100 m,底部面积 20 000 m²,总容积为 30 000 000 m³~ 50 000 000 m³ 所以,它在深度上、规模上位居世界级同类型大型岩溶漏斗的前 5 位或中国的第 3 位或广西的第 1 位(表 1)

2 大石围大型岩溶漏斗的形成条件

岩溶漏斗的形成受多种因素的影响,在诸多因素中,岩性 构造和水文地质条件是最重要的因素,对漏斗的形成起着至关重要的作用

2.1 气候及水文条件

较充沛的降水量和较强烈的地表水及地下水循环,为大型岩溶漏斗的形成提供了强有力的水动力条件 据多年长期观测资料,区内的气候特点是雨热同季,雨量充沛,年均气温 16.8℃,多年平均降水量为 1 375.68 mm 此外,汇集于非岩溶区的外源水,以集中径流形式注入岩溶地块中,它

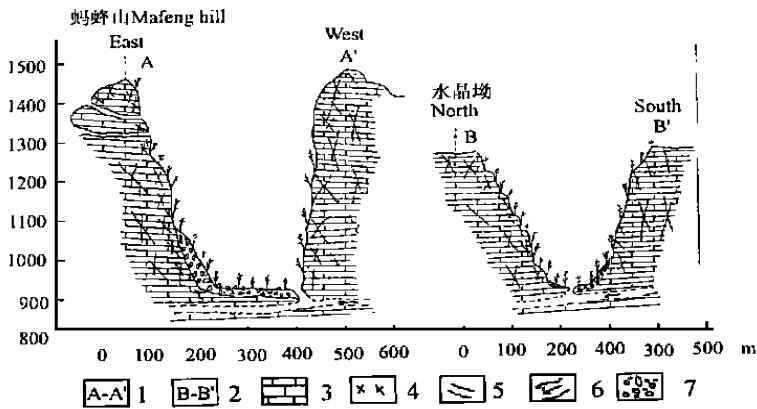


图 1 乐业大石围岩溶漏斗剖面图

Fig. 1 The profile of doline or karst funnel in Dashiwei, Leye county

1. 东(蚂蜂山 A)——西(A')剖面 East(A: Mafeng mountain) -West(A') profiles
2. 南(B)——北(水晶坳 B)剖面 South(B) -North(B: Shuijiao) profile;
3. 灰岩 Limestone; 4. X型共轭节理 Conjugate joints of X-pattern; 5. 洞(穴)道 Cave or cave passage; 6. 地下暗河 Underground river; 7. 崩(塌)塌堆积物 Collapse-accumulative formation.

表 1 世界级规模的大型岩溶漏斗^[1]

Table 1 The world's largest doline or karst funnel

顺序 Number	漏斗名称 Doline name	地点 Site	深度 Depth (m)	直径 Diameter (m)	口部面积 Mouth area (m ²)	总容积 Total volume (m ³)
1	小寨天坑 Xiaozhai doline	中国奉节(长江三峡)兴隆 Xinglong of Fengjie, China	662	626× 537	274 000	119 000 000
2	卢塞 Luse	英国纳凯莱山脉 Nakanai Mt. of New Britain	220	800× 600	380 000	60 000 000
3	小岩湾 Xiaoyanwan doline	中国兴文石林 Stone forest of Xinwen, China	248	625× 475	200 000	40 000 000
4	大石围 Dashiwei doline	中国广西乐业白岩脚(南北向) Baiyanjiao of Leye, China 中国广西乐业白岩脚(东西向)	350 546	500× 380	140 000	30 000 000 50 000 000
5	迈尼尔 Mynie	英国纳凯莱山脉 Nakanai Mt. of New Britain	420	300× 300	70 000	26 000 000
6	埃尔索塔诺 Elstano	墨西哥 Mexio	380	400× 200	60 000	15 000 000
7	龙缸 Long gang doline	中国云阳(长江三峡)清水塘 Qingshuitang of Yunyang, China	550	350× 170	53 000	14 000 000

* 中日 9 联合洞穴探险获得,探测是从海拔 1250 m 北坳口为始点,漏斗底深 350 m,至地下河深 397 m. 350 m deep to the bottom of Doline, 397 m deep to the underground river from north lap of 1250 m above sea, measured by Sino-Japanese joint team of cave exploitation in 1999.

的介入对区内岩溶发育起着重要的作用。由于区内是属盆状岩溶块体,处于碎屑岩山脉的环抱之中,碎屑岩山岳一般高出岩溶峰丛洼地、谷地 100 m~ 400 m。这种盆地状的岩溶地貌类型,有利于外源水和大气降水的汇集,有利于岩溶水流的集中排泄,有利于岩溶和地下岩溶管道的发育,在地层岩性、地质构造、地形地貌及降水量十分巧妙的配置下,为大石围大型岩溶漏斗及地下河的形成作出了巨大的贡献。

2.2 巨厚的碳酸盐岩

大石围大型岩溶漏斗发育于二叠系下统栖霞阶(组)和茅口阶(组)碳酸盐岩—灰岩中。两阶(组)地层的连续沉积厚度大,达 700 余米,而且质地极纯,是区内岩溶强烈发育的主要层位。由于岩层连续沉积厚度大,其间无隔水层或不透水的间夹层存在。所以,这类强岩溶化地层(岩性)条件,为区内高峰丛洼地、深切槽谷及大型漏斗向纵深发育提供了良好的物质基础。

2.3 地质构造

大石围位于乐业武称背斜的西翼,岩层产状平缓,倾向北西,倾角 $7^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 。大石围漏斗的发育严格受高楼区域性北北东向断裂(图 2)及与之伴生的北东东、北西西向两组“X”型共轭节理、裂隙的控制。这种构造条件为地表水、地下水的运移、溶蚀、侵蚀

作用提供了有利的通道,有利于地表和地下岩溶作用的相互沟通,也利于漏斗周围陡崖坍塌和椭圆型漏斗的形成,特别是对于集中岩溶作用的能量和形成独立的岩溶水文系统都极为有利。所以,区内发育的垂向“X”型共轭节理、裂隙构造控制着洞穴、漏斗的发育,并促成蚂蜂窝、大石围漏斗的强烈崩塌以及岩溶水的强烈下渗作用,从而形成规模巨大的大石围岩溶漏斗。

2.4 地下排(水)泄基准面长期大幅度下降,加强岩溶的垂向深切作用

岩溶化地块中的水动力特征取决于区域性排(水)泄基准面和径流水源性质。区内以红水河为区域性的侵蚀基准面,它控制着本区岩溶地貌的切割深度和密度,影响着循环带内岩溶水的运动、排泄的形式和特征。

区内岩溶发育经历了桂西高原期(E)、桂西山盆期(N)和红水河期(Q)等三大地质期。前两期地下水排泄基准面降幅相对较弱,但到第四纪红水河期,由于云贵高原大幅度抬升的影响,造成区内地下排泄基准面大幅度下降,红水河的形成及河谷强烈深切,造成地下暗河下切以及漏斗向纵深发育,所形成的深切峡谷、槽谷、谷中谷和悬崖绝壁,则成为本区的岩溶地貌景观特色。其中,区内地表深切在 500 m~ 1 000 m 不等。据初步测定,大石围大型岩溶漏斗底部地下水水位的海拔标高约 860 m,与红水河附近百郎地下河出口的海拔标高 420 m 相比,其排泄水位落差约 440 m;与红水河河流水位标高 320 m 相比,排泄水位落差约 540 m。所以,大石围大型漏斗底部的地下水水位,目前与区内(红水河)最低排泄基准面仍有 400 m~ 500 m 以上的落差,大石围漏斗仍然有向深部发育的趋势。

2.5 地表岩溶与地下岩溶的长期共同作用

峰丛洼地、岩溶漏斗、谷地或槽谷是地表与地下整体岩溶化最强烈的地貌单元。大石围大型岩溶漏斗实际上是百郎地下河系统上游高楼至韩家沟风岩河北东向地下河支流上的一个巨大天窗。岩溶漏斗底部除有高楼地下暗河支流外,在漏斗上方还发育有 3 个洞穴层,标高分别为 1 420 m、1 380 m~ 1 360 m 和 1 320 m。其中,据 1 380 m~ 1 360 m 高程洞穴中的流水边槽、涡穴以及洞底河流相沉积物的流水指示方向,显示早期地下河主水道是由南向北流,并伴随有由东向西流的支洞水流,并在此交汇,而漏斗发育的初期,正好位于 1 360 m 高程发育的主洞道与支洞道的交汇处,这充分说明当时地表与地下洞道同时发育。此外,周缘峰体或峰顶北北东向、北东东向和北

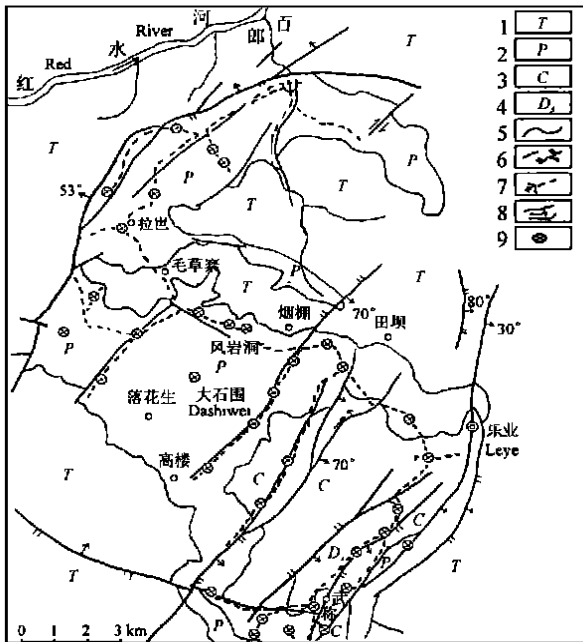


图 2 广西乐业岩溶地质图

Fig. 2 The structural map of karst geology, Leye county, Guangxi

1. 三叠系 Triassic system; 2. 二叠系 Permian system; 3. 石炭系 Carboniferous system; 4. 上泥盆统 Upper of Devonian system; 5. 地质界线 Geological boundary; 6. 断裂(层) Fracture; 7. 地下暗河 Underground river; 8. 地表河 Surface river; 9. 岩溶漏斗或竖井 Karst doline or shaft.

西西向的构造破裂、裂隙及垂向溶裂(隙)极为发育,这些构造破裂控制了地下河道的展布和漏斗的形成。由此可见,地表和地下岩溶的长期共同作用,应是大石围岩溶漏斗发育与形成的基本机制。

3 岩溶发育史

在地质历史时期,受古水文地质条件和古地理环境变化控制,岩溶发育也经历了不同的时期。特别是岩溶洞穴是岩溶发育期信息最好的记录。因此,据区域地质资料及其洞穴(堆)积物调研表明,区内岩溶发育经历了桂西高原期(E)、桂西山盆期(N)和红水河期(Q)。区内岩溶从桂西高原期开始发育,最早可追溯到白垩纪至老第三纪^[2]。

(1) 前桂西高原期(K-E),中生代末期,强烈的燕山运动使本区地壳发生褶皱和压扭性断裂为骨干的区域构造格架。同时,并伴生派生形成大量的构造裂隙密集带,大大地增强了碳酸盐岩被溶蚀的能力,为该区的岩溶发育提供了良好的通道和物质基础。燕山运动以后,区内地壳有较长时期的相对稳定,因受外营力的作用,地面被剥蚀、夷平,形成了岩溶准平原地形及某些小山间洼(坳)地和某些洞穴的雏形。

(2) 桂西高原岩溶期,早期(E-E₃)形成了大于1 500 m以上的岩溶峰顶面,在地下则形成1 420 m和1 380 m~1 350 m标高的2个洞穴层和形成大石围漏斗的雏形;晚期(E₃-N₂)形成了大于1 420 m标高的岩溶峰顶面,在地下则形成了1 300 m标高的洞穴层,并在早期1 380 m~1 350 m标高的洞穴层内,广泛沉积了河流相的粉砂质泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩、粗砂岩、砂砾岩及砾石层,成岩度好,具沉积韵律。

(3) 桂西山盆期(N₂-Q₂),岩溶极为发育,主要形成高峰丛洼地、峰丛(林)谷地地貌,并形成标高1 350 m~1 300 m的岩溶峰顶面及1 200 m~1 250 m标高的洞穴层;此时期,由于地壳上升加剧,贵州高原开始形成,地势高低分异明显,表现为西北部地壳上升幅度大,东南部上升幅度小,岩溶斜坡开始形成;红水河则在早期形成的一些汇水槽谷的基础上不断发育、扩大形成。而大石围漏斗则与其下的洞穴层相连通,开始向纵深发育。

(4) 红水河期(Q₃-Q₄),由于地壳频繁的间歇性抬升,使红水河不断发生深切作用导致区内岩溶侵蚀面不断下降,横、侧向侵蚀、溶蚀作用加强,岩溶地下水为适应侵蚀基准面,也发生了强烈的下切作用。该时期主要形成低于1 250 m的岩溶石峰及1 150 m~1 100 m、1 000 m和900 m以下岩溶洼地、槽谷、洞穴、天窗、竖井或垂直通道以及河谷地貌。由

于红水河的深切作用,致使区内岩溶地下暗河为力求适应于红水河的侵蚀基准面而强烈下降,并向纵深发育。从而增强了区内的垂直通道向纵深发育,特别是大石围漏斗、小石围竖井和拉岷竖井向纵深发育最大,达200 m~400 m不等。

4 大石围大型岩溶漏斗的形成成因

岩溶水是塑造岩溶现象的主要动力,也是开拓洞穴、漏斗的直接动力。因此,要形成一定规模的洞穴、漏斗,既要有一定的作用时间,也要有足够的水量^[3],而岩溶漏斗的纵深发育,还受地壳的大幅度抬升及深切的构造破裂控制。据大石围大型岩溶漏斗周壁所显示的陡壁平直、上部口大、中部收敛、底部口小,并向西部地下河(道)进口的洞口倾斜等形态特征以及现存崩塌堆积物的性质与状态,表明岩溶漏斗在发育、形成过程中,区内发育的垂向深切“X”型共轭节理、裂隙,对漏斗周边岩壁的崩塌和平行后退作用至关重要。

根据上述分析,大石围大型岩溶漏斗的形成,与下述条件密切相关:①有利的气候条件,充沛降水,为岩溶发育提供丰富的水源及水动力条件;②灰岩连续沉积厚度大、质地纯,而周缘有碎屑岩山脉所环抱,并有大量外源水汇入,这不仅增加了其水量及水动力条件,同时还增强了岩溶的侵蚀作用;③构造破裂或垂向深切“X”型共轭节理、裂隙,控制了岩溶向纵深发育或漏斗深切和崩塌作用;④云贵高原第四纪以来的大幅度抬升,造成红水河谷的深切以及岩溶向纵深发育或漏斗的深切作用;⑤具有长期的演化历史,从白垩纪、第三纪开始一直延续至今,即从6500万年就开始岩溶发育,岩溶作用一直持续至今。自燕山运动以来,区内碳酸盐岩块体基本上为碎屑岩山脉所环抱,构成盆状碳酸盐岩体,长期以来,由于大量外源水以集中径流形式注入岩溶地块中,它对岩溶地貌发育的影响不仅增加水量及水动力条件,同时,加强了岩溶水的交替循环,增强了岩溶作用。所以,大石围大型岩溶漏斗,在这种适宜的系统条件下,经地表和地下岩溶的长期共同作用,逐渐崩塌、扩大其容量和增加其深度而实现的。

5 结语

乐业县大石围岩溶漏斗的形成具有长期的演化史和内部演化时间,它经历了桂西高原期(E)、桂西山盆期(N)和红水河期(Q)等3个岩溶期。它是区内相对古老的一种岩溶形态,其发育史,最早可追溯到白垩纪至老第三纪。

乐业县大石围岩溶漏斗为具有世界规模的大型岩溶漏斗, 位居世界级同类型大漏斗的前 5 位, 在其成因上和规模上, 可与长江三峡两岸所形成的大型岩溶漏斗具有共同点, 说明长江水系、红水河水系的发育及其深切作用, 对于大型岩溶漏斗的形成起着极其重要的作用。

由此可见, 广西岩溶斜坡地带、长江三峡两岸、云贵高原周边的边缘地带, 如南盘江、北盘江两岸, 应是大型岩溶漏斗分布的重要地域。所以, 加强对乐业县大石围岩溶漏斗的调查和探测研究, 对于提高区

内岩溶的研究程度, 提高岩溶科学与探测技术水平均具有重要意义。

参考文献

- 1 朱学稳, 张元海. 四川南部大型喀斯特漏斗和地缝式峡谷. 中国岩溶, 1995, 14 (增刊): 1~ 11.
- 2 张美良. 岩滩板文地下水及其岩溶浸没内涝分析. 广西地质, 1996, 9 (4): 53~ 60.
- 3 俞锦标, 章海生. 贵州普定岩溶地貌. 中国岩溶, 1988, 7 (2): 163~ 171.

(责任编辑: 蒋汉明)

(上接第 200 页 Continue from page 200)

表 1 反应温度对产物收率的影响

Table 1 The effects of the reaction temperature on the reactive yields

温度 Temperature (°C)	对溴苯甲醚收率 Productive of <i>p</i> -bromoanisole (%)
140~ 150	30~ 35
120~ 110	60~ 62
70~ 80	82~ 84
40~ 50	60~ 65

表 2 硫酸二甲酯用量对收率的关系

Table 2 The effects of quantities of using dimethyl sulphate on the yields of *p*-bromophenyl methylether

硫酸二甲酯 Dimethyl sulphate (g)	对溴苯甲醚收率 Productive of <i>p</i> -bromoanisole (%)
90	82
101	87.5
120	86.7
202	87

1.3 对溴苯甲醚合成(方法二)

150 g 对溴苯酚置于带回流冷凝管, 滴液漏斗的双颈烧瓶中并加入 173 g 20% 的氢氧化钠溶液, 冷却至 10°C 以下, 滴加入 101 g (0.81 mol) 硫酸二甲酯, 加毕升温至 40°C, 继续反应至上层溶液变为清

亮透明为止, 分出油层, 用 80 ml 5% 氢氧化钠洗涤后, 用水洗至中性, 用无水氯化钙干燥得对溴苯甲醚 142 g, 收率 87.5%。硫酸二甲酯用量对收率的影响见表 2, 实验表明, 硫酸二甲酯用量以计算量较好。由表 2 可知, 增加硫酸二甲酯的用量, 并没有提高对溴苯甲醚的产率。

2 讨论

实验结果表明: 按改进的方法一由苯甲醚制备对溴苯甲醚, 与文献 [1] 报道的方法相比, 其反应温度可从 140°C~ 150°C 降低至 70°C~ 80°C, 并可获得较高收率 (84%)。按我们设计的另一条合成途径, 即方法二先由苯酚制备对溴苯酚再合成对溴苯甲醚, 不仅反应条件更温和, 操作更简便, 而且产率更高 (87.4%)。

参考文献

- 1 朝广甸, 范如霜, 李述方. 有机制备手册. 上卷. 北京: 化学工业出版社, 1985. 138.
- 2 攀延能. 有机合成事典. 北京: 北京理工大学出版社, 1992. 222.
- 3 盖尔曼 H. 有机合成. 南京大学有机化学教研组译. 第 1 集. 北京: 科学出版社, 1957. 101.
- 4 徐克勋. 精细有机化工原料及中间体手册. 北京: 化学工业出版社, 1998. 3~ 134.

(责任编辑: 蒋汉明)