

# 锆石 U-Pb 同位素年代学及其微区定年技术

资 锋 顾韶秋 王 川

(湖南科技大学 湖南 湘潭 411201)

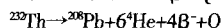
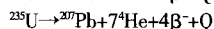
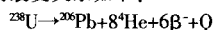
**【摘 要】**介绍了锆石 U-Pb 同位素年代学的原理及常用的测试方法,包括高精度同位素稀释热电质谱,二次离子探针质谱和激光剥蚀电感耦合等离子体质谱,二次离子探针质谱又包括高灵敏度高分辨率离子探针质谱和 Camera IMS 1270 或 1280 型离子探针两种方法。各种方法的实验步骤、技术难度、分析成本、数据精度和劳动时耗均有差异。

**【关键词】**锆石;同位素年代学;质谱;特征

同位素年代学(isotope chronology),是同位素地质学分支之一,是一种利用自然界放射性衰变规律研究测定各种地质体的形成时代的同位素计时方法,一直是国际地质学界研究的热点。当岩浆冷凝,矿物、岩石结晶或重结晶时,放射性元素以某些形式进入矿物或岩石,在封闭体系中,放射性母体或子体同位素持续衰变和积累。只要准确地测定矿物和岩石中放射性母体和子体的含量,即可根据放射性衰变定律计算出岩石和矿物的年龄<sup>[1-3]</sup>。目前用来定年的同位素体系主要有 Rb-Sr 体系、Sm-Nd 体系、K-Ar 体系、<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 体系、U-Th-Pb 体系、Re-Os 体系、Lu-Hf 体系和 <sup>14</sup>C 等,它们均有特定的测定对象和适用条件。这些方法不仅技术难度、分析成本和劳动时耗各不相同,而且对不同测定对象(各种单矿物或全岩)的合适条件也不一样。例如,Rb-Sr 法与 Sm-Nd 法对岩浆岩的物质来源和成因具有重要的同位素示踪、判别意义;K-Ar 和 <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 法对花岗岩的热历史反应最为敏感,特别是具有构造年代学上的意义;而 U-Th-Pb 法可对源岩时代和后期扰动事件造成 Pb 丢失的时代提供重要的年代学信息。目前,锆石 U-Pb 同位素年代学是国际公认的最为有效和可靠的定年方法,已成为广大地质工作者手中一种强有力的认识武器<sup>[1]</sup>。

## 1 U-Th-Pb 同位素体系

U 有三种同位素:<sup>238</sup>U、<sup>235</sup>U、<sup>234</sup>U,都具有放射性,相对丰度比值 <sup>238</sup>U/<sup>235</sup>U=137.88;Th 只有一种同位素:<sup>232</sup>Th;Pb 有四种同位素:<sup>204</sup>Pb、<sup>206</sup>Pb、<sup>207</sup>Pb、<sup>208</sup>Pb,它们都是稳定同位素,其中仅 <sup>204</sup>Pb 为非放射性成因 Pb。它们的衰变关系如下:



Q 代表整个系列的衰变能量的和,它以百万电子伏特为单位。U 和 Th 的同位素相对丰度及其衰变常数见表 1。

表 1 铀和钍的相对丰度及其半衰期、衰变常数

同位素	相对丰度(%)	半衰期 $\tau$ (a)	衰变常数 $\lambda$ ( $\text{a}^{-1}$ )
<sup>238</sup> U	99.2743	$4.468 \times 10^9$	$1.55125 \times 10^{-10}$
<sup>235</sup> U	0.7200	$7.038 \times 10^8$	$9.8485 \times 10^{-10}$
<sup>234</sup> U	0.0057	$2.47 \times 10^5$	$2.806 \times 10^{-6}$
<sup>232</sup> Th	100.00	$1.401 \times 10^{10}$	$4.9475 \times 10^{-11}$

根据衰变公式  $D^* = N(e^{\lambda t} - 1)$  和  $D_2 = D_0 + D^*$ ,可以得到 U-Th-Pb 体系的三个同位素衰变方程<sup>[1]</sup>,即

$$^{206}\text{Pb}_2 = ^{206}\text{Pb}_0 + ^{238}\text{U}(e^{\lambda_{238}t} - 1) \quad (1)$$

$$^{207}\text{Pb}_2 = ^{207}\text{Pb}_0 + ^{235}\text{U}(e^{\lambda_{235}t} - 1) \quad (2)$$

$$^{208}\text{Pb}_2 = ^{208}\text{Pb}_0 + ^{232}\text{Th}(e^{\lambda_{232}t} - 1) \quad (3)$$

根据这三个分立的衰变系列得到三个独立测定的年龄值,而且理论上这些年龄值是一致的,可以代表矿物的形成年龄。但在许多情况下,由于大多数矿物不是封闭体系,而是在结晶以后丢失或得到了 Pb、U、Th 或者它们的中间子体,因此计算出来的含 U 和 Th 矿物的年龄往往不一致<sup>[1-3]</sup>。

## 2 锆石同位素地质年代学

锆石(zircon)是一种硅酸盐矿物,为晶体属四方晶系的岛状结构。

晶体呈短柱状,通常为四方柱、四方双锥或复四方双锥的聚形。锆石颜色多样,有无色、紫红、黄褐、淡黄、淡红、绿色等品种。色散高,有金刚光泽,无解理,摩氏硬度 7.5~8,比重大,达 4.4~4.8。锆石在自然界的三大岩类(岩浆岩、沉积岩和变质岩)中广泛产出,其形成原因和演化历史复杂多变。锆石的化学成分为  $\text{Zr}(\text{SiO}_4)_2$ ,另外很多元素以类质同像的形式存在于锆石晶格中,或以微细的矿物颗粒在锆石结晶时被包裹在晶体中呈包裹体。锆石中主要以类质同像存在的微量元素 U、Th 衰变成 Pb 的 U-Th-Pb 体系,是锆石同位素年代学的基础。锆石同位素地质年代学在地球和太阳系早期的形成和演化历史的研究中,具有不可替代的作用;在年轻的地球物质的年代学研究中,锆石亦占有极其重要的作用<sup>[1,4]</sup>。

一般认为,锆石中没有初始 Pb 或其含量可以忽略,即  $\text{Pb}_0=0$ ,且  $\text{Pb}_2 = \text{Pb}_{\text{测定值}} = \text{Pb}^*$ (放射成因生成的 Pb),由式(2)/(1)可以得到

$$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}} = \frac{^{235}\text{U}(e^{\lambda_{235}t} - 1)}{^{238}\text{U}(e^{\lambda_{238}t} - 1)} \quad (4)$$

由于 <sup>238</sup>U/<sup>235</sup>U=137.88,所以式(4)可以改写为:

$$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}} = 1/137.88(e^{\lambda_{235}t} - 1)/(e^{\lambda_{238}t} - 1) \quad (5)$$

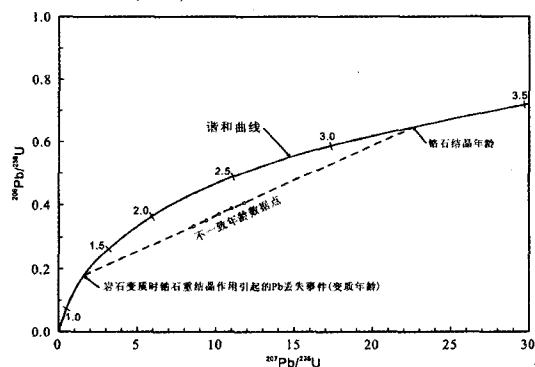
利用该式只需要测定现在的 <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb 比值,而不需要测定 <sup>238</sup>U 和 <sup>235</sup>U 即可计算样品的年龄。该方法也适合于含有较高的 U 而几乎不含 Pb 的矿物年龄研究,如沥青铀矿、晶质铀矿、钍石、独居石和磷灰石等<sup>[1-3]</sup>。

另外,由于锆石中没有初始 Pb 或其含量可以忽略,由衰变方程式(1)和(2)也可以导出下列公式:

$$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U} = e^{\lambda_{238}t} - 1 \quad (6)$$

$$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U} = e^{\lambda_{235}t} - 1 \quad (7)$$

式中 <sup>206</sup>Pb\* 和 <sup>207</sup>Pb\* 是放射性母体衰变作用形成的子体。可以看出,这是一个变量为 <sup>206</sup>Pb\*/<sup>238</sup>U、<sup>207</sup>Pb\*/<sup>235</sup>U,参数为 t 的方程。图 1 示出了该参数方程的理论(一致)曲线<sup>[1]</sup>。



注:当样品的测量值不落在谐和曲线上时,可以得到与谐和曲线的两个交点。其上交点为样品的结晶年龄,下交点为 U 和 Pb 丢失事件的年龄(变质作用年龄)

图 1 锆石 U-Pb 谐和曲线及不一致年龄示意图

如果锆石体系对 U 和 Pb 封闭,则样品中的 <sup>206</sup>Pb\*/<sup>238</sup>U 和 <sup>207</sup>Pb\*/<sup>235</sup>U 值必定落在该曲线上,由此可获得一致年龄。若样品在形成以后发生了 U 和 Pb 的丢失,则将得到不一致的年龄,且其数据点将落在不一致曲线下方的一条直线上。由该直线与一致曲线的上交点和下交点分别可得到锆石的形成年龄和铅丢失的年龄,即变质作用年龄<sup>[1-3]</sup>。

上述图中的上交点和下交点分别可以视为:锆石中的U-Pb同位素组成点和环境的U-Pb同位素组成点。由于U同位素和Pb同位素各自的分馏作用几乎可以忽略,因此锆石中的U-Pb丢失亦可视为其与环境之间的同位素均一化或混合作用。只是这种丢失因强度不同而不同,因而它们便分别落在该不一致线上的不同位置。

锆石U-Pb体系的特点为研究矿物和岩石的年龄提供了方便。它一方面可以获得可靠的年龄数据,另一方面也有可能获得变质作用的信息。但使用该方法需要注意:① 锆石的初始铅必须可以忽略,否则所获得的年龄值偏老;② 当体系的U-Pb丢失程度较大时,其数据点大多落在下交点附近,因此将可能获得一个误差较大的上交点年龄值;③ 利用锆石U-Pb法确定岩石的年龄时,首先必须进行详细的矿物岩石学研究,否则得到的并不是所研究岩石的年龄<sup>[9]</sup>。

### 3 锆石微区定年技术

目前常用的锆石U-Pb定年方法有高精度同位素稀释热电离质谱(Isotope Dilution Thermal Ionization Mass Spectrometry,英文缩写ID-TIMS),二次离子探针质谱(Secondary Ionization Mass Spectrometry,英文缩写SIMS)和激光剥蚀电感耦合等离子体质谱(Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer,英文缩写LA-ICPMS)。二次离子探针质谱又包括高灵敏度高分辨率离子探针质谱(Sensitive High Resolution Ion MicroProbe,英文缩写SHRIMP)和Cameca IMS 1270或1280型离子探针两种方法。下面对这几种锆石U-Pb定年方法的特点、优点、局限性和适用范围作一简单介绍<sup>[4-7]</sup>。

#### 3.1 ID-TIMS

ID-TIMS法是对锆石(也适用于金红石、榍石、独居石等各种富U矿物)进行U-Pb同位素年龄测定的经典方法,20世纪80年代初期便已被应用,是目前最为成熟的锆石定年分析方法。该方法的要点是:用化学方法(通常用HF和HNO<sub>3</sub>)将待测矿物(锆石)在适当的温压条件下溶解。溶解前通常需加入定量的同位素稀释剂(通常为<sup>205</sup>Pb-<sup>235</sup>U或<sup>205</sup>Pb-<sup>235</sup>U混合稀释剂)。矿物溶解后,需用离子交换色谱将U和Pb分别从样品溶液中分离出来,然后在热电离质谱仪上进行U和Pb的有关测定,经计算得到锆石的U-Pb同位素年龄。该方法分析精度很高,可测定的年龄范围较广(从中生代到太古宙),而且不需要相应的标准锆石作校正,避免了寻找和制备标准锆石的困难<sup>[9]</sup>。近年来随着低实验本底ID-TIMS技术的发展和运用,用ID-TIMS法测定锆石U-Pb同位素年龄的精度越来越高,且单次测定所需的锆石样品量越来越少。ID-TIMS法的局限性主要是无法进行矿物(锆石)的微区原位U-Pb同位素年龄测定,对那些地质历史简单的锆石进行测定往往可以得到精确的年龄值。例如对于单纯的岩浆成因锆石,它可以给出精确的谐和年龄;对于一次Pb丢失的岩浆锆石,或符合两端元混合模式的锆石(如岩浆锆石核+变质增生边)在谐和曲线图上也可给出有意义的上、下交点年龄。而对于复杂成因的锆石,如锆石经历了两次以上Pb丢失,两次以上变质增生,或锆石有两种以上的继承组分,则往往难以给出有价值的信息,并使测定年龄结果的解释有很大不确定性。ID-TIMS法的另一局限性是样品的溶解及其中的U-Pb分离等前处理程序较繁杂,费时费力,而且要求很低的实验本底,只有条件较好的实验室才能做得到<sup>[6-7]</sup>。

#### 3.2 SIMS

二次离子探针质谱(SIMS)法是通过高能一次离子轰击样品靶产生的二次离子对样品进行微区原位分析,从而得到样品的元素或同位素组成。因此离子探针分析的最大优点是能对复杂锆石中具有明确单一成因的部位进行微区分析,从而获得意义明确的年龄值<sup>[9]</sup>。为体现这一优点,它要求一次离子束微区分析点的直径要小于复杂锆石中相同成因部位(如变质增生边)的宽度,同时还要能获得足够大的信号强度。显然这二者是矛盾的。为解决这一矛盾,一方面要提高离子探针的灵敏度,灵敏度越高的仪器,可允许用半径更细小的离子束进行微区原位分析;另一方面它必须对具有相同成因的锆石部位进行多次分析,获得一组具有正态分布的谐和年龄,并求平均值以获得高精度的年龄结果。

##### 3.2.1 SHRIMP

SHRIMP是20世纪80年代初期澳大利亚科学家专为进行锆石微区原位U-Pb同位素年龄测定而制造的大型仪器,自投入使用以来在锆石微区原位U-Pb同位素年龄测定工作中发挥了巨大的作用。用SHRIMP法进行锆石的U-Pb同位素年龄测定不需要将锆石溶解,也

不需要用化学方法将U和Pb从待测锆石中分离出来,只需将待测锆石进行制靶、抛光、镀金等处理,便可直接进行锆石的微区原位U-Pb同位素年龄测定<sup>[9]</sup>。测定时仪器产生的一次离子(O<sup>+</sup>离子)轰击所选定的锆石微区,锆石被轰击的部分溅射出二次离子,经加速电压的作用和电磁场的分离,不同二次离子分别被离子计数器检测。根据被测锆石与相应标准锆石的二次离子中U-Pb同位素的强度关系,便可计算出被测锆石微区部位的U和Pb含量、比值及U-Pb同位素年龄。其空间分辨率可达20~30μm,且快速、简便,可在较短的时间内提供精度达1%~2%的U/Pb和<sup>205</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb值。该方法最大优点在于可以对单颗粒锆石原位微区定年,揭示出复杂锆石的内部年龄信息,使得锆石年代学发生革命性变化,它是目前确定复杂锆石年龄的最主要手段<sup>[8-9]</sup>。该方法的主要不足之处是仪器价格高,分析成本昂贵。目前,国内仅有中国北京离子探针中心于2001年从澳大利亚引进一台型号为SHRIMP II的大型仪器,为我国同位素地质年代学研究做出了重大贡献。

##### 3.2.2 Cameca IMS 1270或1280

近年来,许多实验室也应用Cameca IMS 1270进行锆石U-Pb定年工作。一些实验室(如美国加州大学洛杉矶分校)可将二次离子束直径调至20μm进行分析<sup>[10]</sup>,但也有些实验室(如Stockholm的瑞典自然博物馆实验室,法国国家科研中心的岩石及地球化学中心(CNRS-CRPG)离子探针国家实验室)需要用较大的离子束直径(~50μm)进行分析,以获得足够大的信号强度。这样,如果锆石的变质增生边宽度小于分析的离子束直径,那么就不可能获得具有单一成因信息的谐和年龄值,离子探针的优越性就不能得到体现。Cameca IMS 1270也是将待测的锆石颗粒与标准锆石一起置于环氧树脂样品座中,抛光后进行显微镜观察。根据阴极发光图像,进行离子探针原位分析。离子探针分析的原理与SHRIMP相似。一般的仪器分辨率为5000,离子束直径为25×30μm。

中国科学院地质与地球物理研究所2007年引进的Cameca IMS 1280大型离子探针是目前国际上最新型的大型离子探针。它配备了2个一次离子源(氧源和铯源)和电子枪,配置了5个接收器的多接收器检测系统(可以根据分析测试需要安装法拉第杯或电子倍增器)。该离子探针具有高精度、高灵敏度、高分辨率和高效率的微区原位同位素和元素分析能力,可以分析元素周期表中除稀有气体以外的绝大多数金属和非金属元素的同位素组成和元素丰度,主要应用于地球早期历史、造山带构造和古大陆演化、岩石圈与地球深部动力学、天体化学和比较行星学、全球变化、金属矿床形成机制等众多研究领域。根据该仪器开发的无标样法测定显生宙锆石Pb/Pb年龄的新方法,对直接在岩石薄片上测定锆石和斜锆石的年龄具有潜在的应用价值<sup>[11]</sup>,特别是在第四纪年代学研究中具有明显优势<sup>[12]</sup>。中国科学院紫金山天文台徐伟彪研究员利用Cameca IMS 1280离子探针多接收器无标样Pb/Pb定年方法测定了两块月球玄武岩陨石Miller Range (MIL) 05035和LaPaz Icefield (LAP) 02224中钙铝钛矿和斜锆石的Pb/Pb年龄,定年的空间分辨率达到了5μm。

##### 3.3 LA-ICPMS

LA-ICPMS法是自电感耦合等离子体质谱(ICPMS)分析法在1985年首次得到应用以后,在20世纪90年代迅速发展起来的分析技术,被广泛应用于各种锆石原位U-Pb同位素定年。该方法的要点是:用激光束对所测定的锆石选定的微区进行烧蚀,被烧蚀出来的物质在Ar等离子体中发生电离,然后用质谱仪对被电离的物质进行同位素比值的测定,根据被测锆石与相应标准锆石的同位素比值测定结果进行有关元素含量及被测锆石同位素年龄的计算。所需设备是激光系统、等离子体系统和质谱仪系统等<sup>[13]</sup>。该方法可以像SHRIMP法一样,进行锆石微区的原位U-Pb同位素年龄测定,测定过程更加简便快速,且LA-ICPMS法所需的仪器设备比SHRIMP法要简单、便宜得多,运行成本也低得多,特别适用于大量样品的分析<sup>[4-5,13]</sup>。但是该方法也存在一些缺点:(1)剥蚀、传输、电离过程中存在Pb和U的分馏效应,而且对这种分馏效应产生的机理还存在争论;(2)由于同质量的Hg元素影响,难以测定<sup>205</sup>Pb含量,不能有效地进行普通铅的校正。另外,其测定灵敏度比SHRIMP法低,测定过程中消耗(烧蚀)掉的样品量比SHRIMP法要多,因此只有对粒度较大(大于60μm)、U-Pb含量较高的锆石才能进行测定并获得合理的测定结果,限制了这一方法在锆石U-Pb同位素年龄测定中的广泛应用。但是LA-ICPMS法可以对锆石进行原位Hf同位素测定,随着LA-ICPMS测定灵敏度的提高,其应用潜力将越来越大<sup>[4]</sup>。

#### 4 结论

锆石 U-Pb 同位素年代学是目前国际公认的最为有效和可靠的同位素定年方法,在地球和太阳系早期的形成和演化历史的研究中,具有不可替代的作用;在年轻的地球物质的年代学研究中,锆石亦占有极其重要的作用。目前常用的锆石 U-Pb 定年方法有高精度同位素稀释热电离质谱,二次离子探针质谱和激光剥蚀电感耦合等离子体质谱。二次离子探针质谱又包括高灵敏度高分辨率离子探针质谱和 Camera IMS 1270 或 1280 型离子探针等方法。其实验步骤、技术难度、分析成本、数据精度和劳动时耗等各有其特点。

#### 【参考文献】

- [1] Faure G. Principles of isotope geology (ed. 2) [M]. New York: John Wiley & Sons, 1986
- [2] 陈道公. 地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1994
- [3] 郑海飞, 郝瑞霞. 普通地球化学[M]. 北京: 北京大学出版社, 2007.
- [4] 马艳平, 凌毅平, 徐国伟. 锆石学研究在地质科学中的应用[J]. 江西有色金属, 2007, 21(4): 4-7.
- [5] 李惠民, 李怀坤, 陈志宏. 基性岩斜锆石 U-Pb 同位素定年 3 种方法之比较[J]. 地质通报, 2007, 26(2): 128-135.
- [6] 陈志宏, 陆松年, 李怀坤. 北秦岭德河黑云二长花岗岩片麻岩体的成岩时代: TIMS 和 SHRIMP 锆石 U-Pb 同位素年代学[J]. 地质通报, 2004, 23(2): 136-141.
- [7] 侯振辉, 李曙光. 大别造山带超高压变质岩和镁铁质岩浆岩锆石 U-Pb 年代学的 TIMS 和 SIMS 法定年结果比较[J]. 岩石学报, 2003, 19(3): 490-496.
- [8] Compston W, Williams I S, Kirschvink J L, et al. Zircon U-Pb ages for the

Early Cambrian timescale [J]. Journal of the Geological Society, London, 1992, 149 (2): 171-184.

[9] 宋彪, 玉海, 万渝生, 等. 锆石 SHRIMP 样品制靶、年龄测定及有关现象讨论[J]. 地质评论: 增刊, 2002, 48: 26-30.

[10] Ayers J C, Dunkle S, Gao S, et al. Constraints on timing of peak and retrograde metamorphism in the Dabie Shan Ultrahigh-Pressure Metamorphic Belt, east-central China, using U-Th-Pb dating of zircon and monazite [J]. 2002, 186: 315-331.

[11] Li X H, Liu Y, Li Q L, et al. Precise determination of Phanerozoic zircon Pb/Pb age by multicollector SIMS without external standardization [J]. Geochemistry Geophysics Geosystems, 10, Q04010, doi:10.1029/2009GC002400, 2009.

[12] 高钰涯, 李献华, 李秋立, 等. 二次离子质谱第四纪锆石年代学: 台湾金瓜石英安岩定年[J]. 地质前缘, 2010, 17(2): 146-155.

[13] 侯可军, 李延河, 田有荣. LA-MC-ICP-MS 锆石微区原位 U-Pb 定年技术[J]. 矿床地质, 2009, 28(4): 481-492.

作者简介: 黄锋(1980—), 男, 湖南科技大学地质研究所, 博士, 讲师, 研究方向为岩石学和地球化学。

※基金项目: 教育部高等学校特色专业建设项目(TS11027); 湖南省教育厅科学研究项目(10C0671); 湖南科技大学科学研究项目(E50907);

[责任编辑: 王静]

(上接第 24 页)

#### 【参考文献】

- [1] 致礼. 翻译的异化和归化[J]. 山东外语教学.
- [2] 孟建钢. 关于翻译原则二重性的最佳关联性解释. 中国翻译, 2002.
- [3] 郭建中. 翻译中的文化因素: 异化与归化. 外国语, 1998.
- [4] 王东风. 归化与异化: 矛与盾的交锋. 中国翻译, 2002.

作者简介: 余丽雯(1978.6—), 女, 江西科技师范学院外语系讲师, 江西奉新

人, 从事英语教学与研究。

全红(1971.7—), 女, 江西科技师范学院国际合作与交流处副教授, 广西柳州人, 从事英语教学与研究。

※此论文为 2009 年江西省社会科学规划项目研究成果, 课题编号为: 09WX240。

[责任编辑: 汤静]

(上接第 39 页) 3.4 引进与培养高素质的物流人才

人才是决定高效农产品物流发展的最大因素。加强对物流企业从业人员的岗前培训、在职培训等提高从业人员的素质, 通过不同渠道, 采取多种形式, 加速物流管理与运作人才等人力资源的开发、引进和培养。其次是要大力培训一批有文化、懂技术、会经营的新型农民, 他们是今后农民的发展趋势。

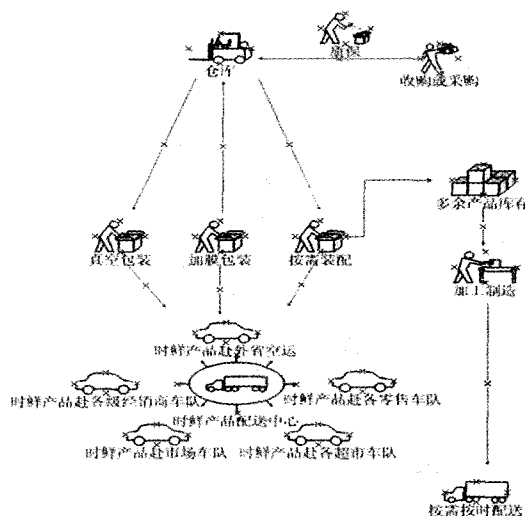


图 2 规划后的物流配送环节

#### 4 结论

综上所述, 浙江省生鲜农产品的配送在经过如上的规划之后, 应该会有一个大程度地提升, 为小企业和散户, 物流企业, 政府形成多赢的局面。当然, 一个好的物流配送管理系统会更加提高效率, 这也是今后要研究的方向。

#### 【参考文献】

- [1] 杨春洪, 徐宏峰. 农村现代物流建设探析[J]. 经济问题, 2008, 3.
- [2] 李孔俊, 凌光永, 王怡璇. 贵阳城市经济圈农产品物流的规划与发展[J]. 物流与采购研究, 2009, 6.
- [3] 花永剑. 浙江农产品物流的发展策略研究[J]. 物流科技, 2008, 2.

作者简介: 朱颖(1980—), 在浙江经贸职业技术学院信息技术系任教, 讲师, 研究方向为计算机软件。

※院级课题: 物流规划设计仿真技术在农产品配送环节的应用研究。

[责任编辑: 曹明明]