

「百科文艺」

古典音乐^①与化学的内在联系：从音符到分子

黄赫喆

上海理工大学
上海 200093

摘要：古典音乐与化学领域虽分属艺术与科学两大阵营，却在旋律、和声、曲式、复调、织体、配器及发展历程等多维度与化学展现出深刻的内在联系。本文旨在通过跨学科视角，深入剖析这些联系，揭示两者在结构、表现形式与发展历程上的共通性，为理解这两个领域的复杂性与美感提供新思路，激发跨学科创新思维。

关键词：古典音乐；化学；内在联系

中图分类号：J60-05 **文献标识码：**A

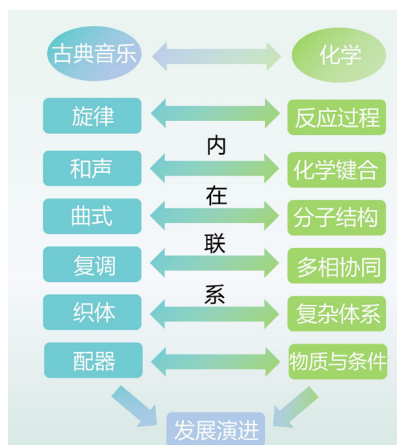


图 1. 古典音乐与化学在多方面的相似性类比

一、引言

古典音乐以其严谨的结构、丰富的情感表达和深邃的艺术内涵，成为人类文化宝库中的瑰宝。化学作为一门基础自然科学，通过研究物质的组成、结构、性质和变化规律，揭示了自然界的奥秘。尽管两者看似迥异，

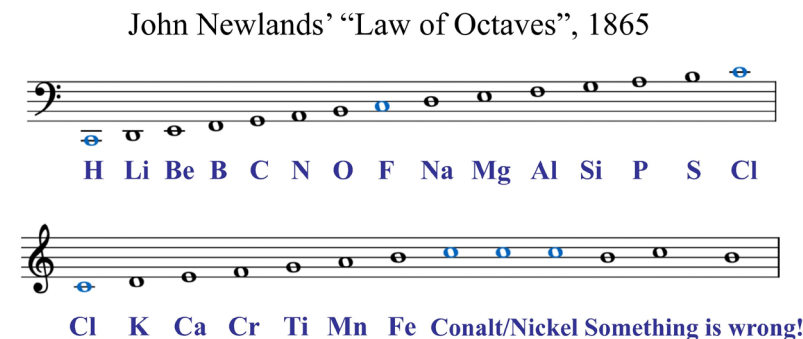


图 2. 纽兰兹认为从 Li 到 Na 有重复的属性

但深入探究可以发现，古典音乐与化学在多个层面上存在着惊人的相似性（图 1）。1864 年，英国著名化学家约翰·亚历山大·雷纳·纽兰兹（John Alexander Reina Newlands）依据当时已知化学元素的原子量大小进行了系统性排序，在此过程中，他观察到一个引人注目的周期性现象：自任一元素起始，每当序列推进至第八个元素

时，该元素的化学性质与序列起始的第一个元素呈现出显著的相似性，这一规律与音乐理论中的八度音程结构存在类比之处。鉴于此，纽兰兹将其命名为“八音律”，以此形象地描绘了化学元素性质随原子量递增而呈现的周期性重复特征（图 2）。该开创性的理论首次将化学与音乐建立联系。本文旨在通过跨学科的分析，从作曲

通讯作者：黄赫喆 **邮箱：**HeZheH@outlook.com

收稿日期：2025-01-07 **录用日期：**2025-04-26

DOI: <https://doi.org/10.12414/sha.240431>

① 本文中讨论的“古典音乐”，在未特殊强调时指巴洛克时期、古典主义时期和浪漫主义时期的音乐，不包括现代/近现代时期的古典音乐创作。

技法的视角切入，探讨古典音乐与化学领域的内在联系，为读者提供一种全新的视角来理解这两个领域内在统一性的美感。

二、旋律与化学反应过程

1、旋律的线条与反应路径

旋律在音乐理论中，是指一系列音符依据特定的音高、节奏和和声规律有序排列所构成的线性表达形式，其形态呈现出多样化的特征，包括直线型（上行、下行及平行）与波浪型等模式。这些形态不仅丰富了音乐的情感表达与审美体验，也构成了音乐创作与分析的重要基础。在化学反应动力学领域，反应路径的复杂性与多样性同样引人瞩目。

与音乐中的旋律线条相类比，化学反应路径也展现出丰富的形态学特征。例如，一个典型的酸碱中和反应，其反应路径相对直接且明确，从反应物的初始状态出发，经由简单的质子转移过程，直接到达产物的最终状态，这一过程与旋律中的直线型线条相似，呈现出一种简洁明了的线性关系。然而，当涉及到复杂的有机合成反应时，情况则变得更为复杂多变。以全合成一个具有生物活性的天然产物为例，其反应路径往往涉及多个中间体的生成与转化，以及多个步骤的串联与并联，这些中间体和步骤之间的相互作用与影响，使得整个反应路径呈现出一种类似于旋律中波浪型线条的复杂形态。这种波浪型路径不仅包含了起伏与转折，还蕴含着丰富的化学变化

与能量转换，使得整个合成过程充满了挑战与机遇。在此类复杂的有机合成反应中，每一个中间体的生成与转化都像是旋律中的一个音符，它们按照特定的化学规律与逻辑顺序排列组合，共同构成了整个反应路径的复杂结构。此外，值得注意的是，在某些特定的有机合成反应中，还可能存在着类似于旋律中变奏与即兴的现象，即反应路径中的某些步骤或中间体可能会因反应条件、催化剂种类或溶剂选择等因素而发生意外的变化，从而进一步增加了反应路径的复杂性与不可预测性。

2、旋律的发展与反应机理的展开

旋律的发展在音乐创作中，通常借助展开、模进、倒影、变奏等作曲技法来深化和丰富动机，这一过程与化学反应机理的逐步揭示与展开之间存在着深刻的类比关系，展现出跨学科的共鸣与互鉴。在化学领域，反应机理的深入剖析要求逐步揭露每一个反应步骤的细微之处，特别是中间体的生成与转化过程，这些构成了反应路径的核心要素。

以自由基反应为例，其反应机理可分为链引发、链增长和链终止这三个阶段。在链引发阶段，初始自由基的生成标志着链反应的启动；链增长阶段则涉及自由基与反应物的连续加成，导致链的增长与中间体的不断累积；链终止阶段则通过自由基之间的耦合或歧化反应，实现链的断裂与反应的结束。这三个阶段各自包含特定的反应步骤，它们依次进行，如同旋律中的展开手法，通过多样化的路径

与策略，不断丰富和发展着反应机理这一“动机”。

进一步地，在不对称催化反应中，手性催化剂的选择与运用对于决定产物的立体构型至关重要。这一过程犹如音乐中的变奏手法，通过对原始旋律进行细微的调整与变化（如改变节奏、添加装饰音或进行和声变奏），创造出既保留原旋律精髓又独具个性的新旋律。在不对称催化中，手性催化剂的微妙差异能够导致反应路径的显著变化，进而产生具有特定立体构型的目标产物，这一过程与音乐变奏中通过细微调整创造出全新音乐体验的做法颇为相似。

此外，在音乐领域，模进作为一种重要的旋律发展手法，指的是在不同的音高上重复或变体呈现原有的旋律片段，以此来扩展旋律的广度与深度。这一过程与化学中通过调整反应条件（诸如温度、压力、催化剂种类与浓度等）来改变和优化反应路径的做法具有异曲同工之妙。例如，在合成特定有机化合物时，科研人员可能通过调整反应溶剂、改变催化剂种类或优化反应温度等手段，来引导反应路径朝向期望的方向进行，这一过程犹如音乐家在创作中对旋律动机进行巧妙的模进处理，既保留了原有的旋律特征，又赋予了新的色彩与表现力。

三、和声与化学键合

1、和声的稳定与化学键的稳定性

和声在音乐结构中的稳定性和协和性，构成了音乐表现力的核心要素

之一。稳定的和声结构能够唤起听众内心的和谐感与平衡感，这种感受与化学领域中稳定的化学键对于分子结构的稳固作用及其抗反应性的贡献之间存在着深刻的类比关系。具体而言，稳定的和声，如典型的大三和弦（例如 C-E-G），以其清晰明确的音程关系和和谐的音色，给人以稳定而明亮的听觉体验，这一感受与共价键中电子云高度重叠、键能显著、结构稳固的化学特性相类似。在共价键的形成过程中，原子间通过电子的共享达到能量最低的稳定状态，如碳-碳单键（C-C）的稳定存在，便是电子云重叠程度高、键能大的直接体现，这与大三和弦在音乐中的稳定与协和性形成了有趣的跨领域呼应。

相反，和声的不协和性，如小二度音程（例如 C-D）所带来的紧张感

与不稳定感，则与化学中不稳定化学键的易断裂与重组特性相呼应。在化学领域，不稳定的化学键往往对应于较高的反应活性，易于发生键的断裂与新的化学键的形成。以碳正离子（ R_3C^+ ）为例，作为一个典型的不稳定中间体，其正电荷中心的高反应活性促使它易于发生重排反应或与其他分子发生加成、取代等反应，这一过程与小二度和声在音乐中的不协和性及其强烈的解决倾向形成了有趣的平行对比。小二度和声因其不稳定的音响特质，往往需要通过向更协和的和声进行解决，这与碳正离子在化学反应中倾向于转化为更稳定产物的趋势不谋而合，共同揭示了不同学科领域中“不稳定向稳定转化”这一普遍规律的存在（图 3）。

2、和声的功能与化学键的键合类型

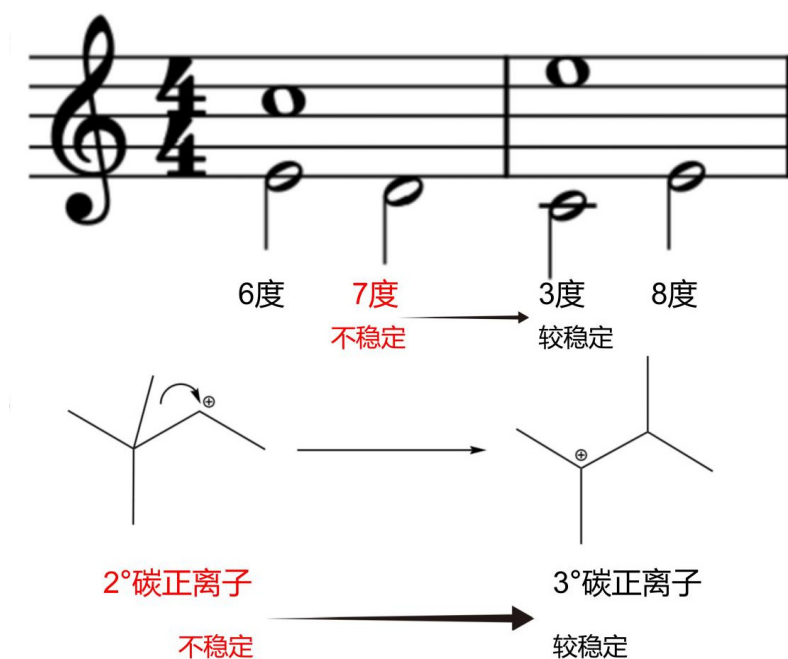


图 3. 和声和化学中不稳定向稳定的转化。(a) 在第二类对位法中，不协和的经过音通常需要通过音程的变化来解决到协和的音程。这种解决方式有助于增强音乐的稳定性和和谐感。(b) 有机化学反应中，不稳定的碳正离子会主动通过电子转移重排成更稳定的碳正离子。

和声在音乐理论中扮演着多维度的功能角色，其中在调性音乐中，主功能和弦以其特有的稳定特质为音乐结构提供基石般的支撑，而属功能和弦则通过其内在的不稳定性及向主功能和弦解决的强烈倾向，为音乐进程注入动力与紧张感。这些和声功能的不同表现，与化学领域中化学键的键合类型之间存在着微妙的对应关系，进一步揭示了自然界中稳定与变化、和谐与冲突的普遍规律。

在化学范畴内，不同类型的化学键（离子键、共价键、金属键等）各自展现出独特的键合特点和性质，这些特性与音乐中和声功能的多样性形成了有趣的类比。离子键，作为由正负离子间强烈的静电吸引力所构成的化学键类型，其稳定性与强度令人瞩目，正如主功能和弦在音乐结构中所扮演的稳定与和谐的角色。以氯化钠（NaCl）为例，其晶体结构中钠离子（ Na^+ ）与氯离子（ Cl^- ）之间通过静电吸引力紧密结合，形成了高度稳定的离子晶体，这一过程与主功能和弦在音乐中提供的稳定感与和谐美不谋而合。

另一方面，共价键中的 π 键与 σ 键相比，展现出更为活泼与不稳定的一面，这种特性与属功能和弦在音乐中的不稳定性及其向稳定和弦解决的倾向相呼应。以乙烯（ C_2H_4 ）为例，其分子结构中的碳-碳双键（ $C=C$ ）由一个 σ 键和一个 π 键组成，其中 π 键因其电子云分布较为松散，能量较高，因此更容易受到外部条件的干扰，参与加成反应等化学过程。这一过程

与属功能和弦在音乐中通过不稳定性与解决倾向推动音乐发展，最终导向稳定的主功能和弦的动态过程有着异曲同工之妙。

此外，金属键由金属原子中的自由电子与多个阳离子形成的“电子海”所构成，这种键合方式赋予了金属材料独特的导电性、导热性和延展性。金属键的这种广泛连接与动态平衡，与音乐中复杂和声结构的交织与融合相呼应，展现了自然界中不同领域间普遍存在的和谐与统一。

四、曲式与化学分子结构

1、曲式的框架与分子的空间构型

曲式作为音乐作品的结构组织形式，是作曲家用以构建和安排乐曲各个部分以形成整体艺术效果的蓝图。它规定了乐曲各组成部分如何相互关联、有序排列，从而赋予音乐作品以特定的逻辑框架和审美特征。与此相类比，化学分子同样拥有其独特的空间构型，这些构型包括线型、环型、立体构型等多种形态，它们共同构成了分子结构的基石，并深刻影响着分子的物理化学性质及其反应活性。

曲式的框架，犹如化学分子的空间构型，不仅决定了音乐作品的整体轮廓和基本特征，还为音乐创作提供了严谨的结构支撑。以奏鸣曲式为例，这一经典的音乐结构形式由呈示部、展开部和再现部三大板块构成（如莫

扎特《G大调弦乐小夜曲》第一乐章），它们各自承载着不同的音乐内容与表现功能。音乐结构框架的严谨性与逻辑性，与有机分子中碳骨架的结构有着异曲同工之妙。碳骨架，作为有机分子的核心组成部分，其形态与连接方式直接决定了分子的基本性质和反应特性，是化学领域中分子设计与合成的基础。例如，乙烷（ C_2H_6 ）作为一个简单的线型分子，其碳骨架以直线形态存在，这种结构使得乙烷的物理化学性质相对简单，主要表现出烷烃类化合物的典型特征，如稳定的化学性质、较低的沸点与熔点等。而环己烷（ C_6H_{12} ）则是一个典型的环型分子，其碳骨架形成一个闭合的六元环，这种结构赋予了环己烷独特的物理化学性质，如较高的沸点、熔点以及特定的溶解性等，这些性质与乙烷形成了鲜明的对比。

再比如，蛋白质分子，作为生命体系中的关键组成部分，其空间构型异常复杂，包括 α -螺旋、 β -折叠等多种二级结构，以及更为复杂的三级结构和四级结构。这些复杂的空间构型不仅决定了蛋白质的生物活性与功能，还为其在生物体内的相互作用与调控提供了基础。与此类似，音乐中由主题开始，发展成乐句、乐段、乐部等。复杂曲式和结构进行交互后，也能形成如多乐章交响曲（如，德沃夏克《e小调第九交响曲》：第一乐章，奏鸣曲式；第二乐章，复三部曲

式；第三乐章，倍复三部曲式；第四乐章，奏鸣曲式）、大型声乐套曲（在巴赫的《马太受难曲》中，作品巧妙地融入了多种音乐形式，包括咏叹调、咏叹双重奏以及咏叹调与合唱的对话等。这些音乐形式各自基于特定的情节内容，通过交替呈现的方式，共同构建出一幅连贯且富有叙事性的音乐画卷^①）等伟大的作品，同样通过其复杂的结构与丰富的表现手段，展现出音乐艺术的深度与广度。

2、曲式的重复与分子的对称性

在众多的曲式结构中，普遍存在着主题的重复与乐段的再现等结构现象，这些重复性的元素为音乐作品带来了高度的统一性和完整性，成为其艺术魅力的重要组成部分。与此同时，在化学领域，分子的对称性同样是一个引人注目的特征，它涵盖了诸如分子的对称轴、对称面等多种表现形式。分子的这种对称性不仅深刻影响着其物理化学性质，还在诸如分子识别、晶体结构排列以及化学反应活性等多个方面发挥着至关重要的作用。

以苯分子（ C_6H_6 ）为例，它是一个具有高度对称性的分子，其独特的六元环结构使得每个碳原子都与两个氢原子以及两个相邻的碳原子相连，从而形成了一个正六边形。这种高度的对称性赋予了苯一系列独特的化学性质，其中最为显著的是其芳香性，这种性质使得苯在有机化学中占据了举足轻重的地位。在音乐领域，以贝

① 小蔡菜籽油. 巴赫《马太受难曲》的曲式和结构以及跨时代的影响 [EB/OL]. (2023-05-19) [2025-01-15]. https://www.sohu.com/a/677075773_120155113#.

多芬的《命运交响曲》为例，该作品开头的四个音符主题（短 - 短 - 短 - 长）以其鲜明的节奏感和强烈的情感表达，成为了整部交响曲的核心元素。这一主题在整部作品中多次重复和再现，不仅增强了乐曲的统一性和完整性，还通过不断的变奏和发展，为乐曲注入了源源不断的动力，使其充满了震撼人心的力量。

从更深层次的角度来看，无论是音乐曲式中的重复与再现，还是化学分子中的对称性，都体现了人类在复杂结构中寻求规律性和秩序性的美学原则。通过重复和对称，这些结构不仅增强了整体的和谐感和美感，还使得人们能够在纷繁复杂的现象中把握到本质的规律，从而更加深刻地理解和欣赏这些艺术和科学领域的杰作（图 4）。

五、复调与化学反应的多相协同

1、复调音乐的对位法与化学反应的协同机制

复调音乐作为一种高度复杂的音乐形式，通过精心编织多个独立且相互交织的旋律线条，构建出层次分明、结构繁复的音乐织体。这种音乐创作手法不仅要求每个声部各自具备独立性和完整性，还需在整体上实现和谐统一，展现出一种高度协调的多声部对位与配合艺术。巴赫的复调音乐中，每个声部都具有独立性，同时又相互和谐。每个声部都有自己的旋律线，但在整体上又形成一个统一的音乐结

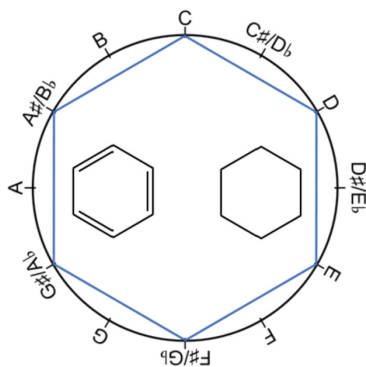


图 4. 半音阶循环图中连接全音阶，得到正六边形。与苯分子、环己烷类似。

构。例如，在 BWV866 的赋格部分，三个声部始终保持透明而温柔地进行发展，主题有两个固定对题旋律，声部之间的对位关系非常严谨。在化学领域，多相反应体系同样展现出类似的协同作用机制，这种机制对于实现复杂化学反应过程至关重要。以多相催化反应为例，该体系中的气相反应物分子、固相催化剂表面的活性位点以及液相中的传质过程共同构成了一个复杂的反应网络。在这个网络中，

气相中的反应物分子首先与固相催化剂表面的活性位点发生相互作用，形成中间体。随后，这些中间体通过液相中的传质过程，与其他反应物或中间体进一步反应，最终生成目标产物。这一过程不仅要求不同相之间的物质传递高效有序，还需要各相在反应过程中保持协同一致，以确保整个反应体系的稳定性和效率。

在复调音乐中，对位法作为一种重要的作曲技术，通过精确控制不同声部之间的旋律对位，创造出既和谐又复杂的音乐效果。作曲家需要深入剖析每个声部的旋律走向，确保它们在和声、节奏以及音乐表达上达到高度的协调与统一。同样地，在化学反应中，协同机制也发挥着至关重要的作用。以酶催化反应为例，酶的活性位点与底物分子之间的精确对位是实现高效催化的关键。这种对位不仅涉及空间结构的精确匹配，还需要在时间上实现高度同步，以确保底物分子在正确的

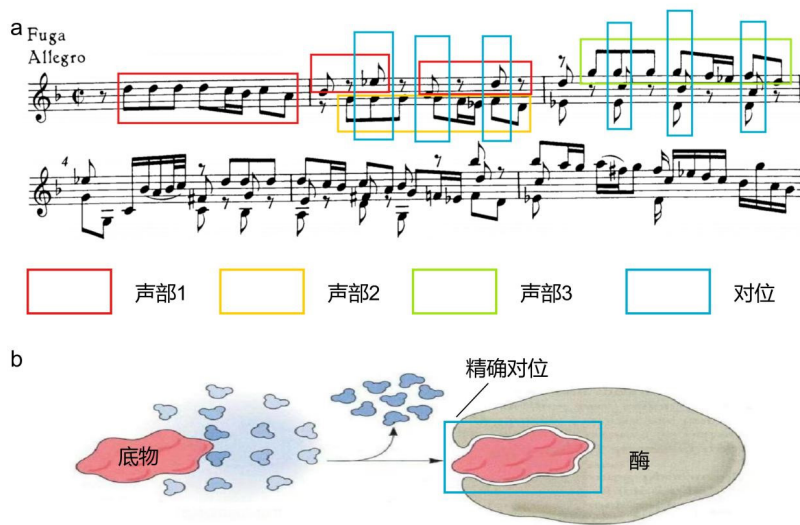


图 5. 复调音乐对位法与酶催化反应的类比。（a）选自 J.S. 巴赫《无伴奏第一小提琴奏鸣曲》BWV.1001。（b）酶催化反应的机理示意图。

时间和位置与酶的活性位点结合，从而引发高效的催化反应（图5）。

此外，在电化学反应中，电极表面的活性位点与溶液中的反应物离子之间的相互作用同样需要精确的对位和协同作用。这种对位不仅涉及电极表面的微观结构和化学性质，还与溶液中离子的扩散、迁移以及反应动力学等因素密切相关。通过精确调控这些因素，可以实现高效的电化学反应过程，为能源转换和存储等领域提供重要的技术支持。

复调音乐中的对位法与化学反应中的协同机制在本质上具有相通之处。它们都要求在不同元素或组分之间实现精确的对位和协同作用，以构建出高效、稳定且复杂的系统。

2、复调音乐的层次感与化学反应的多尺度结构

复调音乐作为一种高度复杂的音乐表现形式，通过多个独立而又相互交织的声部，巧妙地构建出一种层次丰富、结构多样的音乐织体。在这一音乐结构中，每个声部都承载着独特的旋律线条和节奏模式，它们各自独立且完整，但同时又在整体上相互补充、和谐共生，共同塑造出一个统一而富有表现力的音乐作品。这种多声部交织的手法，不仅展现了作曲家对音乐结构的深刻理解和精湛技艺，也为我们提供了一种理解和分析复杂系统的独特视角。

在化学反应中，多尺度结构的调控同样具有举足轻重的地位。以纳米材料制备为例，这一过程涉及到从原子尺度到宏观尺度多个层次的结构控

制。在原子尺度上，化学键合的方式和强度直接决定了材料的微观结构和稳定性；在纳米尺度上，颗粒的形态、大小和分布则对材料的宏观性能产生显著影响；而在宏观尺度上，材料的整体结构、力学性能和化学性质则决定了其在实际应用中的表现。通过精确控制每个尺度上的结构特征，科学家可以实现对纳米材料性能的精确调控，从而开发出具有高性能和多功能性的新型材料。这种多尺度结构调控的思想，与复调音乐中通过精确控制每个声部的旋律和节奏来实现丰富音乐层次的手法不谋而合。

同样，在近年来备受关注的电化学储能领域，锂离子电池的电极材料同样需要精确控制多尺度结构。从原子尺度上的离子嵌入/脱出机制，到纳米尺度上的活性物质颗粒形貌和孔隙结构，再到宏观尺度上的电极结构和电池整体设计，每个尺度上的结构特征都对电池的性能产生重要影响。通过优化这些结构特征，可以显著提高锂离子电池的能量密度、循环稳定性和安全性，从而推动电动汽车和可再生能源储能等领域的发展。

六、织体与化学体系的复杂性

1、织体的丰富性与化学体系的多样性

织体是音乐作品中不同声部之间的组合方式与层次结构，具体表现形式包括但不限于单声织体、复调织体以及主调织体等。这些织体类型的多样性与复杂性，为音乐作品提供了广阔的表达空间，使其能够细腻而深刻

地传达出复杂的情感内涵与意境营造。在化学领域，体系同样展现出高度的多样性与复杂性。这一多样性主要体现在不同相态的存在，如气相、液相、固相乃至更为精细的超临界相、液晶相等，以及物质形态与反应类型的广泛变化。这些化学体系的多样性不仅决定了物质的宏观性质与微观结构，还深刻影响着化学反应的路径、速率与产物分布，从而赋予了化学世界无尽的探索空间与实际应用价值。

复调织体作为音乐织体的一种高级形式，通过多个独立且相互交织的旋律线条，构建出层次丰富、结构复杂的音乐织体。这种织体形式与化学中的多相反应体系有着异曲同工之妙。在多相反应体系中，不同相态的物质在界面处发生相互作用，形成复杂的反应网络，使得反应过程呈现出高度的复杂性与多样性。这种复杂性不仅体现在反应路径的多样性上，还体现在反应速率、产物分布以及能量转换等多个方面。

相比之下，主调织体则通过一个主要旋律与伴奏声部的结合，突出主题旋律的主导地位，使得音乐作品在整体上呈现出清晰的结构与主题表达。这一织体形式与化学中的单一相反应或主要反应路径具有某种程度的相似性。在单一相反应中，反应物与产物在同一相态中进行转化，主要反应路径清晰明确，强调了反应的核心部分与关键步骤。这种简洁明了的结构使得科学家能够更加聚焦于反应机理的探究与优化，从而推动化学合成与催化等领域的发展。

2、 织体的变化与化学反应的动态过程

在音乐作品的构成中，织体的变化与发展构成了音乐动力与形态多样性的重要源泉。从基础的单声织体，即音乐作品中仅含单一旋律线条的朴素形式，到复调织体的引入，其中多个独立旋律线条相互交织，形成复杂而丰富的音乐层次，再到主调织体的确立，以一条主要旋律为主线，辅以和声与节奏的支持，凸显主题并引导音乐情感的走向，这一系列织体转换不仅丰富了音乐的表现力，也为音乐创作与欣赏带来了无限的可能与深度。在化学反应领域，尤其是复杂的有机合成过程中，同样存在着类似于音乐织体变化的动态过程。这些过程不仅涉及反应物的逐步转化、中间体的生成与产物的最终形成，还涵盖了多种反应路径的选择与相态的转变。以某一复杂的有机合成反应为例，初始反应物可能首先通过一种单相反应路径，如均相催化过程，转化为一个或多个关键的中间体。随后，这些中间体可能进入一个更为复杂的反应阶段，其中多相催化反应成为主导，不同相态（如气相、液相、固相）之间的物质传递与相互作用促使中间体进一步转化，直至最终产物的生成。

在这一系列化学反应的动态过程中，反应体系的“织体”——即反应物、中间体、产物以及它们在不同相态与反应路径中的分布与转化状态——经历了显著的变化。这种变化不仅推动了反应的持续进行，还深刻影响了产物的结构、性质乃至整个合成过程的效率与可持续性。正如音乐作品中织

体的变化为音乐发展注入活力与多样性，化学反应体系中的织体变化同样为化学合成与催化等领域的研究提供了丰富的探索空间与创新机遇。

七、 配器与化学物质的性质和反应条件

1、 配器的色彩与化学物质的性质

配器作为音乐创作中的一项关键技术，涉及根据各类乐器的独特音色特性和演奏性能，对音乐作品进行细致的编配与安排。这一过程旨在通过不同乐器组合的巧妙运用，创造出丰富多变、层次分明的音乐色彩与情感表达。正如乐器音色在音乐创作中的重要作用，不同化学物质因其独特的物理化学性质，如颜色、气味、溶解性、熔点、沸点等，为化学体系赋予了鲜明的多样性和独特特征。这些性质，如同乐器音色之于音乐，成为化学世界中不可或缺的构成元素，为化学反应的设计与实施提供了丰富的素材与可能性。

在化学领域，通过合理选择与搭配不同的化学物质，就像音乐家在配器中精心挑选乐器与音色搭配一样，可以实现特定的化学反应效果与功能。这种物质的选择与搭配，不仅影响化学反应的路径、速率与产物分布，还深刻影响着化学过程的效率、可持续性与实际应用价值。以化学发光反应为例，这一过程通过选择合适的发光物质与氧化剂，能够产生绚丽的光学效果，广泛应用于环境监测、生物标记、安全防伪等领域。其中，鲁米诺

作为一种典型的发光物质，在碱性条件下与过氧化氢(H_2O_2)等氧化剂反应，能够发出强烈的蓝光。这一反应过程，就像在配器中选择乐器，通过它们独特而和谐的音色搭配，营造出优雅而动人的音乐氛围一样，鲁米诺与过氧化氢的组合在化学发光反应中发挥了类似的作用，通过精确控制反应条件与物质比例，实现了高效、稳定的发光效果。

在催化剂的设计与合成中，不同金属或金属氧化物因其独特的电子结构与催化性能，成为催化反应中的关键组成部分。通过合理选择与搭配这些催化剂材料，就像配器中根据乐曲风格与情感需求选择合适的乐器组合一样，可以实现对特定化学反应的高效催化与产物选择性控制。例如，在铂基催化剂的设计中，通过调控铂纳米颗粒的尺寸、形状与表面结构，可以显著提高其催化活性与稳定性，从而在燃料电池、汽车尾气净化等领域展现出广泛的应用前景。

2、 配器的技巧与化学反应条件的控制

配器技巧作为音乐创作与编排的核心组成部分，不仅涵盖了对乐器种类与组合的精心选择，还深入到了对乐器演奏方式的细致调控，这包括力度（即演奏时的强弱变化）、速度（即演奏的快慢节奏）以及音区（即乐器演奏的音高范围）等多个维度。这些参数的精确调控，对于塑造音乐的情感表达、构建作品的层次结构与动态平衡具有至关重要的作用。在化学反应领域，类似于配器中对乐器演奏方式的精细控制，反应条件的精确调控

同样对反应结果及产物的选择性起着决定性的影响。这主要包括反应温度、压力、溶剂的选择、催化剂的种类与用量，以及反应时间的精确控制等。这些条件的微妙变化，能够深刻影响反应路径的选择、反应速率的快慢以及产物的结构与性质，从而在化学合成、催化、材料制备等领域展现出广泛的应用潜力。

以有机合成为例，通过精确调控反应温度和压力，研究者可以实现对反应速率与选择性的有效控制，这一过程类似于配器中通过调整乐器的演奏力度与速度来影响音乐作品的情感深度与动态表现。例如，在不对称催化反应中，通过微调反应温度，可以优化催化剂的活性与对映选择性，从而高效合成具有特定立体构型的有机分子。这一过程对温度控制的精确性要求极高，哪怕微小的温度变化都可能对反应结果产生显著影响，正如配器中乐手对力度控制的微妙差异能够深刻改变音乐的情感色彩一样。

在电化学合成中，通过精确调控电解液的组成、电流密度以及电极电位等条件，可以实现对电化学反应路径的精确控制，从而合成具有特定结构与功能的材料。这一过程类似于配器中通过精心选择乐器组合与音色搭配，来构建音乐作品的整体风格与情感基调。在电化学合成中，合适的反应条件能够确保反应的顺利进行与产物的高选择性生成，正如在配器中合适的乐器选择与音色调控能够使音乐作品更加和谐完美一样。配器技巧与化学反应条件的控制之间存在着深刻

的类比关系。它们都要求研究者具备高度的专业技能与敏锐的直觉判断，通过精确调控各要素之间的关系与相互作用，实现整体效果的最优化。

八、发展历程与学科演进

1、古典音乐的发展历程与化学学科的历史

古典音乐的发展经历了从中世纪到现代的多个时期，每个时期都有其独特的风格和特点。从格里高利圣咏的单声部音乐，到文艺复兴时期的复调音乐，再到巴洛克时期的主调音乐和古典主义时期、浪漫主义时期及现代音乐，古典音乐不断演变和发展，形成了丰富多样的音乐形式和表现手法。类似地，化学学科的发展也经历了从古代的炼金术，到近代的化学元素的发现和化学反应的研究，再到现代的化学理论的建立和化学技术的创新。每个时期都有其重要的发现和理论突破，推动了化学学科的不断进步。古典音乐与化学学科的发展均展现出了从简单到复杂、从经验到理论、从单一到多元的演变趋势。它们在不同历史时期所取得的重大成就与理论突破，不仅为各自领域的发展奠定了坚实的基础，也为人类文明的进步与繁荣做出了不可磨灭的贡献。

2、学科演进中的创新与突破

在古典音乐的发展历程中，创新和突破是推动音乐发展的关键因素。例如，巴洛克时期的和声注重功能性和声的进行，而古典主义时期则开始强调和声的色彩性和表现力。进入浪

漫主义时期，和声技法更加自由多变，和弦的运用更加大胆创新，如使用不协和和弦、远关系转调等手法，为音乐增添了丰富的色彩和表现力。贝多芬在交响曲形式上的创新，打破了传统的结构限制，为后来的浪漫主义音乐奠定了基础。奥地利作曲家阿诺尔德·勋伯格在20世纪初创立的十二音技法是一种无调性作曲技法。它要求作曲家在一个八度内选择12个半音作为基本材料，并按照特定的顺序进行排列和组合，从而构成音乐作品。这种技法打破了传统调性音乐的束缚，为作曲家提供了更加自由多样的创作空间。类似地，在化学学科的演进中，创新和突破也是推动学科发展的动力。例如，门捷列夫发现元素周期律，为化学元素的研究和分类提供了新的理论基础；化学键理论的发展，为理解分子结构和化学反应的本质提供了新的视角。这些创新和突破不仅丰富了学科的内涵，还为解决实际问题提供了新的方法和途径。

九、结论

通过对旋律、和声、曲式、复调、织体、配器及发展历程等音乐学元素与化学反应过程、化学键合、化学分子结构、化学体系组成及化学学科历史的深入分析，我们可以发现古典音乐与化学领域之间存在着深刻的内在联系。这些联系不仅体现在表面的类比上，更在于它们都追求通过有序的结构和规律性的组合来实现复杂而精美的效果。

古典音乐与化学领域的内在联系为我们提供了一种跨学科的思考方式，帮助我们从不同的角度理解这两个领域的复杂性和美感。这种跨学科的视角不仅有助于我们更好地欣赏古典音乐和理解化学现象，还可能激发我们在各自领域中的创新思维。例如，音乐家可以从化学的结构和反应中获得

灵感，创作出更具科学美感的音乐作品；化学家可以从音乐的旋律和和声中获得启发，设计出更高效、更稳定的化学反应体系。本文通过从旋律、和声、曲式、复调、织体、配器及发展历程等音乐学角度出发，深入探讨了古典音乐与化学领域的内在联系。通过跨学科的视角，我们揭示了古典

音乐与化学之间的共通性，为理解这两个领域的统一性和美感提供了新的思路。通过这种跨学科的探索，我们可以发现，艺术与科学并非孤立存在，而是相互渗透、相互启发的。这种跨学科的思维方式不仅能够丰富我们的知识体系，还能够激发我们的创造力，推动人类文明的不断进步。

作者简介：

黄赫喆 甘肃武威人，于 2024 年在南京工业大学获得化学学士学位，目前在上海理工大学攻读化学硕士学位。研究兴趣包括复合纳米材料的精准诊疗应用、光功能材料和生物医用高分子材料等。自幼学习钢琴和管弦乐器、古典音乐作曲理论与技术，代表作品有小提琴独奏《B 大调回旋曲（铎炫华章）》、交响曲《理韵》等。现任上海理工大学沪江管弦乐团双簧管声部演奏员。

The Intrinsic Connection Between Classical Music and Chemistry: from Notes to Molecules

Huang Hezhe

Abstract: Although classical music and chemistry belong to the two different camps of art and science respectively, they reveal profound intrinsic connections in multiple dimensions such as melody, harmony, form, counterpoint, texture, orchestration and their development processes. This article aims to deeply analyze these connections through an interdisciplinary perspective, revealing the commonalities between the two in terms of structure, expression forms and development history, providing new ideas for understanding the complexity and beauty of these two fields, and stimulating interdisciplinary innovative thinking.

Keywords: Classical music; Chemistry; Intrinsic connection