优选论的发展及其在汉语音系学研究中的应用

张杰

提要 优选论作为生成音系学理论已经经历了三十年的发展。本文先对优选论的起源、基本原理及其延伸与进展作一个简单的回顾，再对优选论在汉语音系学研究中的应用进行总结。对汉语的讨论集中于音节结构与配列规则、音段变体、连读变调、及借词的研究。我们可以看到优选论对促进汉语音系的理论与实践研究起到了积极的作用；汉语音系也对优选论的发展作出了重要的贡献。

关键词 生成音系学，优选论，最大熵值语法，音节结构，音段变体，连读变调，借词音系

The Advancement of Optimality Theory and Its Applications in Chinese Phonology

ZHANG Jie

Abstract As a theory of generative phonology, Optimality Theory has experienced thirty years of development. In this chapter, we first review the origin, basic principles, and further extension and development of Optimality Theory, then summarize its applications in Chinese phonology research, focusing on syllable structure and phonotactics, segmental alternation, tone sandhi, and loanword phonology. We can see that Optimality Theory has played a positive role in advancing both theoretical and empirical research on Chinese phonology; Chinese phonology, on the other hand, has also made important contributions to the development of Optimality Theory.

Keywords generative phonology, Optimality Theory, Maximum Entropy grammar, syllable structure, segmental alternation, tone sandhi, loanword phonology

1. 引言

作为生成音系学理论，优选论（Prince and Smolensky 2004/1993）已经经历了三十年的发展。本文先对优选论的起源、基本原理及其延伸与进展作一个简单的回顾，进而总结优选论的发展对汉语音系系统的解释所起的作用。对汉语的讨论将集中于音节结构与配列规则、音段变体、连读变调、及借词的研究。我们将看到优选论对促进汉语音系的理论与实践研究起到了积极的作用；汉语音系也对优选论的发展作出了重要的贡献。

2. 优选论的起源与基本原理

从音系理论的角度来看，音系语法是说话人对语音组织规律潜在知识的形式体现。依据 Chomsky (1965) 对语言理论的评估，一个音系语法应能对其语言中音系形式的合法性作出正确的判断（观察充分性），也能正确表达说话人从习得数据中所归纳的音系法则（描述充分性）。而一个具有解释充分性的音系理论则应能从一个正常人所接触的语言数据中习得具有描述充分性的音系语法。

以 Chomsky and Halle (1968) 为开山之作的传统生成音系理论认为音系表征有底层与表层两种形式。每一个语素对应于一个抽象的底层表征，作为表层表征的语素变体则由底层表征经一系列以 A → B / C__D 为表达式的推导规则串行产出。这一理论认为推导规则及串行模式是表达说话人的音系知识的最佳选择。

以推导规则为主的传统生成音系学对音系研究起到了深远影响，但其几点不足之处也困惑了音系学家多年。第一，在同一语言中往往有多条推导规则具有功能上的一致性，但在形式上却无法归一。Kisseberth (1970) 所讨论的亚沃玛尼语是这一“共谋”（conspiracy）问题的经典体现。在这一语言中，语素结构中不能有CCC的辅音丛；在推导语素变体的音系规则中，元音删除的规则以VC__CV为环境，以防止元音删除造成CCC辅音丛的出现；而且规则中又有不同的辅音删除及元音增添规则，其统一作用也为避免CCC辅音丛在表层表征出现。也就是说，*CCC在亚沃玛尼语中起到了规则触发、规则阻断及制约语素结构等至关重要的作用，但其在以推导规则为主的音系语法中却没有明确的地位。更重要的是，在一个语言中发现的共谋，如*CCC，强制曲折原则（Obligatory Contour Principle）（Leben 1973, Goldsmith 1976, McCarthy 1986, Odden 1986, 等）等，往往在多个语言中起作用。这更加深了解决共谋问题的重要性。第二，如我们在亚沃玛尼语的讨论中提到的，一个语言中关于语素结构的规则（如冗余规则，音位变体规则，配列规则等）常在语素变体的推导过程中需要再次重复应用。这一“双重性”（duplication）问题在追求精简的传统音系理论中却没有简单的解决方法（Kenstowicz and Kisseberth 1977）。第三，在以推导规则为主的音系分析中，一组数据往往有多种理论分析的可能性。这一不确定性也是音系理论想要避免的。例如，英语中规则过去式的三个语素变体[-d]、[-t]和[-əd]可以以任何一个变体的形式作为底层结构而推导出来。我们必须考虑哪个分析用到了基于英语整体的标记性的推导规则才能决定哪个分析是正确的：以/-d/为底层结构的分析用到了基于词尾阻塞音丛清浊和谐的阻塞音清化规则和基于强制曲折原则的ə元音插入规则；以/-t/和以/əd/为底层结构的分析皆依靠无法延伸到其它英语数据的推导规则，从而不是正确的分析（Fromkin ed. 2000）。但这一决定必须考虑到推导规则的触发原因，从而对传统生成音系提出了与共谋类似的挑战。第四，在涉及音系与构词的界面研究中，以语法模块和推导规则串行处理为模式的传统音系学往往会遇到顺序悖论问题（ordering paradox; Wilbur 1973, McCarthy and Prince 1993）。这也与表层表征必须遵循的音系结构以及在形态上相关

的表层表征的对应原则在语法中没有明确的地位有关。第五，尽管传统生成音系对推导规则有一定的评估标准 — 例如，推导规则所用的特征越少或越具有语音的自然性，其本身的自然性也越高（Kenstowicz and Kisseberth 1979），但每个语言中的推导规则仍基本上由这一语言的数据所决定，因此往往不具普遍性。这与语言理论对人类语言的共性作出阐述的目标不相吻合。

我们可以看到贯穿这些问题的一条主线是推导规则无法将触发规则的原因与规则的变化从本质上区分开来，从而造成传统音系学无法对标记性的重要性作出统一、明晰的阐述。对标记性原则的研究虽然从 Chomsky and Halle (1968) 便有提到，但因其在不同语言中作用程度不同，而即使在同一个语言中，在不同的形态环境下其作用程度也可能不同，这对将语法原则视为普遍原则的传统理论提出了很大的挑战。这一点在对强制曲折原则的研究体现得尤为显著（如 McCarthy 1986, Odden 1986）。这一问题在很大程度上促进了优选论的发展。

优选论（Prince和Smolensky 2004/1993）认为对这一问题最直接的解决方式是将标记性原则作为生成音系理论的一个重要组成部分以标记性制约（markedness constraints）来体现，对表层结构作出要求，以此来触发从底层到表层的变化。音系语法的另一部分则为要求表层结构与底层结构相对应的忠实性制约（faithfulness constraints）。忠实性制约可以起到保持词汇原有的标记性的作用。标记性制约和忠实性制约都是具有普遍性的，但也都是可违反的。不同的制约可能彼此冲突；例如，标记性制约可能要求底层到表层发生变化，而忠实性制约则要求表层不变。优选论解决冲突的办法是将制约进行层级排列；层级排列更高的制约对表层结构起更优先的决定作用。不同语言的音系类型变化只取决于制约的层级排列的不同，而不是制约的不同或普遍原则参数的不同。

从执行的角度来说，优选论由三个部分组成：词汇库、生成器和评估器。由于标记性制约只基于表层表征，而对底层表征不作任何限制，因此优选论中的词汇库具有“底层丰富”（richness of the base）的特性。也就是说，任何音系特征及其组合都可在词汇库中出现，而不受特定语言的限制。生成器是一个由输入项映射到一个无限的候选项集合的函数。候选项由“自由分析”（freedom of analysis）原则决定，涵盖所有音系形式。而评估器由制约及其层级排列组成，是一个将无限的候选项集合映射于一个输出项的函数。在经典优选论中，评估器中的制约排列遵循严格统制的原则，具有传递性，因此违反一个排列更高的制约一次的候选项永远不会优于只违反了排列更低的制约多次的候选项。这在评估器如何从候选项中选择最佳输出项上起了决定性的作用。优选论摒弃了传统生成音系学中规则串行处理的理论模式，而是将音系语法看作一个从无限丰富的底层形式到特定语言中合法的表层形式的过滤器，而这一过滤器对表层输出项的筛选是依据特定语言的制约排列由一次性并行处理完成的。并行处理认为所有制约在同一语法中交互影响，从而使标记性制约能够同时起到规则触发、规则阻断及制约语素结构的作用，因此对共谋现象给出了一个较为清楚的解释。而且，并行处理以标记性制约、输出项对应制约（Output-Output correspondence）与其它制约的交互关系解决了串行处理在不同语法模块的界面分析中遇到的顺序悖论问题。这一点在韵律形态学（prosodic morphology）对叠词、截断词及中缀的分析中尤为重要（McCarthy and Prince 1993）。

回到音系理论的描述充分性和解释充分性的角度上说，优选论也比传统音系学具有一定的优势。我们再以英语说话人对规则过去式的三个语素变体[-d]、[-t]和[-əd]的潜在知识为例。这三个变体分别出现在浊的非舌尖塞音、清的非舌尖塞音和舌尖塞音后，成年英语说话人不论在英语固有词汇还是在新词中都能对变体作出正确的判断，

说明其对这三个语素变体的潜在知识是具很强的能产性的（Berko 1958）。但 Berko 的研究还表明6至8岁的儿童虽然不一定能对新词给出正确的过去式变体（如 bod → bod, *bod[əd]），但其产出的过去式皆不违反任何英语中普遍的标记性原则，包括触发过去式语素变体的词尾阻塞音丛清浊和谐原则和限制相似词尾阻塞音丛的强制曲折原则。这表明在习得过程中，说话人对标记性原则的知识与对底层到表层如何变化的知识是分离的。优选论能更准确地解释这一习得现象：儿童对标记性制约的高排列的习得在先，而对产出正确语素变体所需的其它制约的排列的习得在后；这也与言语习得研究中所发现的婴儿对配列规则的早期习得相吻合（如 Jusczyk et al. 1993, 1994, Friederici and Wessels 1993）。传统音系学则因未将规则触发的原因与规则本身分离开来而无法对这个习得过程作出解释。从习得的角度更概括地说，优选论的一大优势是其为音系语法的习得过程及可习得性（learnability）提供了明晰的模型基础。例如，在制约是普遍性的前提下，我们可以假设母语习得的初始状态为标记性制约 » 忠实性制约；“以错误驱动的制约降级算法”（error-driven constraint demotion）及其不同的变体与发展可以从习得者听到的语料中模拟制约排列由初始态到最终态的习得（Tesar and Smolensky 1998, Hayes 2004, Prince and Tesar 2004, Tessier 2009, 2019, Magri 2013 等；中文译介见尹玉霞、钱有用 2022）。这些由习得算法模拟的语法会对说话人的行为作出预测，从而为优选论作为音系理论的解释充分性提供了检验依据。

由于篇幅所限，本文只对优选论的起源与基本原理作这样一个简单的介绍。对此更深刻、详细的讨论请见 Prince and Smolensky (2004/1993), Kager (1999), McCarthy (2008), 及王嘉龄（1995），李兵（1998）及马秋武（2008）对优选论的中文介绍与讨论。

3. 优选论的发展

三十年来，优选论在理论的各方面都经历了很大发展。本章集中讨论以下几个对汉语音系学研究影响较大的发展方向：优选论的功能性，优选论对音系晦暗性（opacity）的处理，能够模拟变异与例外的量化模型，及优选论对配列规则的解释与习得模型。

3.1 优选论的功能性

长期以来音系类型学的研究表明音系格局和规则经常有发音或感知上的动机。例如，在音系格局中，音段的存在经常具有蕴涵关系。所以，如果一个语言有浊阻塞音，则其也有清阻塞音。这与阻塞音的发音特质密切相关。又如，音系规则的存在经常缘由于发音省力原则及感知最大化原则。语言中常见的鼻音后清音浊化（post-nasal voicing）便与鼻音后的阻塞音发音条件相关；汉语中舌尖元音的产生则与增强（塞）擦音在不同发音部位的对立有关。相对于早期的音系理论对这类音系自然性的解释，如 Trubetzkoy (1939/1969) 的标记理论，Stampe (1973) 的自然音系学（Natural Phonology）, Archangeli and Pulleyblank (1994) 的实地音系学（Grounded Phonology），优选论的普遍标记性制约与忠实性制约最利于系统地、形式化地将音系的功能性体现在音系语法当中。一些学者认为音系表征应具备描述详细的语音实体的功能，而这些语音实体表征可直接反映到制约上，并直接影响制约排列，从而决定了音系的语音自然性（如Boersma 1998, Kirchner 1998, Flemming 2001）。一些学者认为虽然音系表征是形式化、范畴化的，但说话人的感知机制可以由感知距离映射到忠实性制约的普遍排列上，从而使感知间接地在共时音系语法中起作用（如Jun 2004, Steriade 2001,

2008）。还有一些学者则认为语音功能对音系的作用起在习得过程中：儿童在习得过程中依据其语音经验合成发音与感知上有效的制约，而这些制约的排列也会受到功能性的“分析偏向”（analytic bias）的影响（如Hayes 1999, Wilson 2006）。这类研究不仅对优选论制约及制约排列的本质进行了深入的探讨，也促进了音系类型学及以感知为背景的实验音系学的研究。

当然，并非所有学者都认为语音的功能性应反映在共时音系语法上。例如，Anderson (1981), Ohala (1996), Blevins (2004) 等认为音系的自然性源于历时变化；语言习得者的任务只是将其语言环境中的模式内化，其共时音系并不具有语音或功能的目的性（teleology）。这一争论延续至今；对其更深入的讨论，请见 Hansson (2008), Beguš (2022)。对优选论功能性的中文译介，请见王嘉龄（2002b），郭中子（2012）和赵永刚（2012）。

3.2 优选论对音系晦暗性的处理

随着优选论将音系研究的重心由推导规则移向表层音系的合法性，学者们发现一些在传统音系学中可以解释的现象在优选论中遇到了分析上的难题。音系的晦暗性（opacity）是其主要的难点之一。依据 Kiparsky (1973) 对晦暗性的定义，一条以 A → B / C__D 为形式的推导规则如果满足以下两个条件之一便是晦暗的：(a) A在 C__D 的环境中出现；(b) B在非 C__D 的环境下由该推导规则产出。条件(a)为推导规则的应用不足（underapplication）；条件(b)为推导规则的应用过度（overapplication）。晦暗性在传统音系学中可由推导规则的串行处理来解决，其关键为将晦暗的规则排在另一条规则前，而这条在后的规则可以过迟地促成或破坏前一条规则的应用，从而造成其晦暗性。但对于不具有中间过程的、以并行处理为基础的优选论，这一分析方式不复存在。从另一个角度来说，在优选论中，音系变化是由表层标记性制约 » 忠实性制约所触发的，而忠实性制约的存在则要求音系变化以最小为准，因此当表层违反标记性制约时，优选论要求表层应该进行音系变化，而当表层不违反标记性制约时，优选论则要求表层不应该进行变化。因此，推导规则的应用不足和应用过度在优选论中都无法预测。Bakovic (2007, 2011) 将晦暗性定义为表层非真（non-surface-true）与表层非显（non-surface-apparent）的音系规则，指出晦暗性与规则的串行排列并不具有特定的关系，因此不能说传统音系学对晦暗性的解释具有优势。但优选论对晦暗性的解释问题依然存在。

为解决晦暗性的分析问题，音系学家提出了一系列对经典优选论的修正。以普遍性地解决晦暗性为目的的方法包括和应理论（又译共感理论）（Sympathy Theory; McCarthy 1999）、层级优选论（Stratal OT; Kiparsky 2000, Nazarov and Pater 2017）及基于和谐串行模式（Harmonic Serialism）和候选项链（candidate chain）的优选论（OT-CC; McCarthy 2007）等。和应理论增加了表层表征与类似于传统音系学中间过程的“和应”候选项的对应制约；层级优选论承认形态学上的串行处理；基于和谐串行模式及候选项链的优选论认为每一个候选项都具有从底层到表层表征的步骤变化的信息。这些方法的共通之处在于赋予优选论影射中间过程的能力，从而在不同程度上模拟传统音系学的串行处理。对这些分析方法更详细的中文译介，请见李兵（2005）和马秋武（2008）。另有一些学者针对一些具有特殊性的晦暗性问题提出了特别的解决方法。例如，链移（chainshift）是一种规则应用不足的晦暗音系现象。Kirchner (1996)用忠实性制约合取（constraint conjunction），Zuraw (2007) 用*MAP制约及其基于感知的固有排列，Lubowicz (2003)用保持对立（PRESERVE-CONTRAST）制约来推导链移现象，其主旨都与链移限制了底层到表层所能经历的变化步骤，从而保持了底层

音系的对立相关。对与形态上范式调平（paradigmatic leveling）有关的晦暗性现象，Benua (1997) 等则利用输出项之间的对应制约（Output-Output correspondence）来解释。这些分析方法与前文提到的优选论的功能性直接相关。

从说话人的音系知识及习得的角度来看，对音系晦暗性研究的一大重点是晦暗的音系规则是否具有能产性。Ettlinger (2008)和Kim (2012)用人工语言学习的方法说明晦暗性的规则是可习得的，但也有另一些学者的研究表明晦暗的规则是不具能产性的或直接与构词相关（Sanders 2001, Mielke et al. 2003, Sumner 2003, Green 2004 等），因此说话人所习得的音系语法应将固有词中的晦暗性与新词中的晦暗性的非能产性同时作出正确的预测。这在一方面体现了优选论以表层为主的优势，但也要求优选论更直接地表达词汇与音系语法的关系。汉语方言连读变调对这一类研究起了至关重要的作用（见下）。

3.3 模拟变异与例外的量化模型

3.3.1 变异

变异（variation），有时也称为自由变异（free variation），是指一个词或语素能在相同的环境下有不同的语音表现。这一问题在社会语言学中早就有了很重要的位置（如Labov 1972，1994），但其在音系理论上的重要性直到近二十年才受到重视。Coetzee and Pater (2011)指出变异不仅发生在词汇音系学（Lexical Phonology; Kiparsky 1982）意义上的“后期音系”（late phonology）中，如英语中gree[n] box与gree[m] box的变异，也会发生在“前期音系”（early phonology）中。例如，匈牙利语后缀中的元音多会依据词干的元音进行[±back]的元音和谐，但元音和谐在词干中离词缀最近的元音为中性时会有变异，而每种变异的出现频率与词干的音节数量、词干首音节元音的前后特征及词干末音节中性元音的高低特征有关（Hayes and Londe 2006）。更重要的是，实验表明说话人对变异的频率及影响变异频率的音系条件有着潜在的知识。Hayes and Londe（2006）便通过一个新词实验（wug test; Berko 1958）证实了匈牙利语说话人能够敏感地用词干的相关音系条件来计算词缀的元音和谐的行为。这些例证表明我们必须对变异有一个音系学上的解释，而不是把它简单地归结到语音实施或社会语言学的范畴当中。

传统音系学对变异的分析只是停留在将推导规则设为有选择性的，对变异的量化格局则没有实质上的解释。以严格统制为制约排列的基本原则的经典优选论也无法对不同频率的变体作出统一的解释。更重要的是，制约降级算法在有变异的情况下会造成制约排列在习得过程中形成循环，因此无法习得有变异的音系系统。优选论在习得模拟上的优势也因此荡然无存。为解决这一问题，Boersma (1998) 与 Boersma and Hayes (2001) 提出了一种以概率为基础的优选论变体—随机优选论（stochastic OT）。在这一理论中，制约在一线性轴上排列，而每一制约的排列值则分布在一正态分布上；在任一时刻，每一制约的排列值由其正态分布随机决定。每一候选项的输出频率则与产生它的制约排列的概率成正比。其与经典优选论的区别在于它不假定制约排列的严格统制，而是允许制约的层级排列有一个概率分布，从而使一个底层结构能够通过不同时刻不同的层级排列映射到多个不同的表层结构。随机优选论附带了一个能够模拟变异习得的渐进习得算法（Graduate Learning Algorithm），其以以错误驱动的制约降级算法为本，但每一习得步骤只在小范围内调整制约的排列。当有足够的习得数据时，这一算法能够习得可以预测数据中变异概率的语法。

作为优选论的前身，和谐语法（Harmonic Grammar；Smolensky 1986, Smolensky and Lengendre 2006, Pater 2009）对制约的评估与优选论不同，其认为每个制约条件都有一个权重，而任一候选项都有一个由其违反的制约条件的权重及违反次数所决定的和谐参数；和谐参数最高的候选项便是输出项。有噪音的和谐语法是另一个可以模拟变异的音系理论。与随机优选论相似，每次运用语法时，任一制约的权重可在一个正态范围内调整，从而可以由此预测变异。有噪音的和谐语法也有一个习得算法，可以从有变异的输入数据中习得与其频率分布相匹配的语法。Pater (2008) 指出和谐语法的习得算法比随机优选论的渐进习得算法更具收敛性，从而在数学角度上更严格。

最大熵值语法（Maximum Entropy Grammar; Goldwater and Johnson 2003, Jäger 2007）是一种对数线性的和谐语法。如果我们假定任一制约C_i的权重为w_i，并且对于任一输入项x的候选项y，$C_i(y|x)$代表y违反制约C_i的次数，那么候选项y的和谐参数则定义如下：

(1) $$h(y|x)=\exp(-\sum_i w_i C_i(y|x))$$

这一候选项作为 x 的输出项的概率则为其和谐参数与 x 的所有的候选项的和谐参数之和的比，如公式(2)所示：

(2) $$p(y|x)=\frac{h(y|x)}{\sum_{y\in\Omega} h(y|x)}$$，Ω为 x 的所有候选项的集合

这一候选项的输出概率分布最大程度地利用了既有数据，又不对既有数据作出更多的假设，因此使分布的熵值（公式(3)）最大化。这一概念在信息理论（information theory）中有着重要的作用（见 Shannon 1948）。

(3) $$H(p(y|x))=\sum_{y\in\Omega} p(y|x)\log\frac{1}{p(y|x)}$$, Ω为 x 的所有候选项的集合

在制约条件已知的情况下，最大熵值语法的习得通过由输入－输出对应项组成的训练数据 D 来确定使 D 的对数概率（公式(4)）为最大的制约条件的权重。这一习得过程可以由“梯度上升”（gradient ascent）或其它机器学习上常用的方法来实现。

(4) $$\log(p(D))=\log(\prod_{y|x\in D} p(y|x))$$

与随机优选论和有噪声的和谐与法相比，最大熵值语法产出变异的方法不在于语法本身的不确定性，而在于对输出项的概率分布的定义。其所依靠的数学基础更牢固，其习得算法也具有可证明的收敛性。最大熵值语法的另一点优势在于我们可以用一个高斯条件来对习得过程中权重的调整作出限制，从而可以由此来体现语法学习中的“分析偏向”。这一高斯条件将μ_i设为制约条件 C_i 的权重的预置值，σ_i^2 设为偏离这一预置值的惩罚值，那么习得的目的则由公式(4)的最大化改为公式(5)的最大化。σ_i^2的值越低，C_i的权重偏离其预置值的可能性便越小。

(5) $$\log(\prod_{y|x\in D} p(y|x))-\sum_i \frac{(w_i-\mu_i)^2}{2\sigma_i^2}$$

Wilson (2006)便以这一高斯条件来作为感知对音系语法习得的分析偏向的体现。依据[ki]~[t͡ʃi]的感知距离低于[ke]~[t͡ʃe]的感知距离，他将*ki 的σ_i^2 值设为高于*ke 的σ_i^2 值，从而使*ki 这一制约在习得过程中更容易获得较高的权重。这一方法成功地预测了在刺激贫乏的情况下，中元音前的舌根音腭化能被延伸到高元音前，但反之则不然。Hayes and White (2013) 用了一个更简单的方法来体现习得中的分析偏向：他们先在无偏向的条件下模拟一个最大熵值语法的习得，再将所习得的制约权重依据语音自然性进行手动调整，从而使语法的预测与习得数据更匹配。我们在下文将看到最大熵值语法及其

习得的分析偏向在汉语配列规则及连读变调的研究中起到了重要的作用。关于概率性的优选论的中文译介，见杨军（2007）。关于随机优选论、有噪音的和谐语法及最大熵值语法在解释自由变异的能力上的进一步比较，见 Zuraw and Hayes (2017) 及 Flemming (2021)。

3.3.2 例外

与自由变异不同，词汇变异（lexical variation）是指从词汇库整体来看，某些音系规律存在无法解释的例外。但每一个底层结构则只对应于一个表层结构。例如，英语词根的配列规则之一为在sCVC的词根中，两个C一般不能都为唇音、软腭音、鼻音或/l/。但这一规则在英语中有许多例外，如 *Spam, spume, skeg, scag* 等。这些词的存在并不妨碍英语母语者对这一规则的潜在认识；在似词性测试中，英语母语者往往认为违反这些规则的假词，如 *slil, skang, sming, spap* 等，是不合法的。更重要的是，说话人对这些规则在词汇中的运用频度及其在具体环境中的具体体现往往有阶层性的认识。Zuraw (2000, 2010) 记录了一个反映这一情况的例子。塔加路语中有一个鼻音替换的规则（nasal substitution）。根据这一规则，一个鼻音会与其后相邻的塞音合并为一个鼻音，并拷贝塞音的发音部位。如 N+p → m。但这一规则在塔加路语中有许多例外。如 **p**oʔók‘地区’，pa**m-p**oʔók‘本地的’。然而这些例外又是有一定规律的：鼻音替换在发音部位越靠前的塞音上越可能发生（唇音>舌尖音>舌根音）；鼻音替换在清塞音上比浊塞音上更可能发生。Zuraw 用实验表明在新词中，鼻音替换规则的能产性与塔加路语本身的词汇中鼻音替换在不同音系环境下的频度是密切相关的。这说明我们不能只把这些例外简单地归结在词汇层面上，而是需要音系语法对说话人关于有例外的规则及有规则的例外的知识作出正确的预测。

为了解决塔加路语中每一个现有的词对鼻音替换规则的统一性与新词对这一规则的变异性，Zuraw (2000, 2010) 以随机优选论为基础，提出了一个列举与生成相结合的理论。在这一理论中，语言中固有的词汇在词库中被列举，其发音被高排列的忠实性制约所保护。但词库中的音系统计规律则由低排列的随机制约体现。例如，pam-poʔók 在词库中有一个列举项；高排列的忠实性制约保证其发音为忠实的[pam-poʔók]。而一个新词在加前缀的情况下没有列举项，因此它的发音由低排列的随机制约来决定，如 *NC̥（清音不允许在鼻音后出现），NasSub（语素末尾的鼻音不允许出现在阻塞音前），*[ŋ，*[n，*[m（鼻音不允许出现在词根首）等。如果*NC̥的排列值较高，那么清塞音便更容易触发鼻音替换；如果 *[ŋ、*[n 和 *[m 的排列值依次降低，那么塞音的发音部位越靠前，鼻音替换便越可能发生。更重要的是，Zuraw (2000, 2010) 指出随机优选论的渐进习得算法能够在以塔加路语的语料作为输入时正确地习得这些制约的排列值，并以实际数据模拟了这一习得过程。我们在下文中会看到这一理论在解释有例外及不具完全能产性的汉语变调系统中起了重要的作用。

3.4 优选论对配列规则的解释与习得模型

音系学对配列规则的解释与习得在优选论中得到了特别的重视。我们在上文提到婴儿早期（一岁之前）便对其语言的配列规则有所认识（如Jusczyk et al. 1993, 1994, Friederici and Wessels 1993）；又有研究表明说话人对配列规则的潜在知识是复杂的、具有阶层性的（如Frisch et al. 2000, Bailey and Hahn 2001, Hammond 2004）。优选论为这两个现象的解释提供了理论基础。优选论对配列规则可习得性的早期研究（如Hayes 2004, Prince and Tesar 2004）认为在配列规则的习得过程中，习得算法必须将忠实性制

约的排列尽可能压低，否则会造成习得过程中的“子集问题”（subset problem）；也就是说，当被习得的配列规则是当前语法所允准的配列规则的子集时，习得将错误地停止。Hayes and Wilson (2008) 则认为由于婴儿对语素和词汇尚未形成概念，因此底层结构与表层结构相等，先期音系语法的习得只包括标记性制约，并且标记性制约可从输入数据中习得。其以此构建的以最大熵值语法为基础的配列规则习得算法不仅可以正确判定固有词汇音位配列的合法性，而且能较准确地预测说话人对其它音位配列的合法性的阶层性判断。由于篇幅所限，其具体的习得算法在这里不一一赘述。但其主旨为以一个循环过程先习得依据输入数据具有最高精确度的制约及其权重，再习得下一个精确度的制约及其权重，直至研究者所约定的制约数；而制约权重的习得则依据梯度上升的原则进行。这一配列规则的习得模型在新近对汉语音节合法性的研究中得到了应用。

4. 优选论在汉语音系研究中的应用

优选论的产生与发展对汉语音系研究起了重要的影响。王嘉龄在1995年对优选论的介绍及马秋武2008年的优选论专著在这一过程中起了至关重要的作用。本节对汉语音系的优选论研究作一个简单的回顾。对于汉语音系学这样一个较为新兴的学科，三十年是一个不短的时间。优选论对其的影响体现在方方面面上，而关于该理论对汉语音系适用性的争论也从没有停止过。因篇幅所限，本节重点讨论笔者认为受优选论影响较大，但在既有的中文文献中涉及较少的汉语音系研究，主要涉及音节结构、配列规则、音段变体、连读变调及借词等方面。对其它优选论在汉语音系研究总结性的讨论，见闫小斌、马秋武（2007），马秋武、王红梅（2008）及郭中子、马秋武（2018）。

4.1 音节结构与配列规则

汉语方言中的最大音节结构为CGVX（C=辅音，G=滑音，V=元音，X=元音或辅音）；普通话中X则只限于滑音或鼻滑音（Duanmu 2008）。关于G是属于音节首（onset）还是音节韵（rime）的争论见林燕慧（2014），我们在此不赘。对汉语音节研究来说一个重要的问题是如何解释一个方言在所有CGVX的可能性下的缺失音节。大多数学者认为缺失音节的规律与音节中不同成分的共存限制（concurrence restrictions）有关。因其对标记性制约的形式表达，优选论在这一问题的研究发展上起了重要的促进作用。例如，Lin (2002) 用ALIGN-RIME和ALIGN-CV制约来分别强制音节韵部VX和CV开音节整体要受滑音的特征所控，并用这两个制约与具有普遍排列的*ø » *e » *ə及*ø » *o » *ə的阶乘分类（factorial typology）来解释普通话、长治、济南、大连等十九种方言的中元音在音节中的同化模式。例如，普通话中/uə/ → [wo]源于ALIGN-CV » *o, 而长治话中/uə/ → [wə]则源于*o » ALIGN-CV。马秋武（2008）则将Lin (2002)的ALIGN制约细化，以AGREE-GV[rd], AGREE-GV[bk], AGREE-VG[rd], AGREE-VG[bk]来体现，对Lin (2002)所提到的一部分方言进行了进一步解释。Yi and Duanmu (2015)提出兰州方言的音节受以下基于强制曲折原则的制约的限制：(a) C和G不能使用相同的发音部位；(b) [+high]不能在GVX中连续出现；(c) [i]不能在G和X上同时出现；(d) [u]不能在G和X上同时出现。

Gong and Zhang (2021) 对普通话音节中的配列规则作了进一步的研究。其主要贡献在于他们不仅停留于解释普通话所存在的音节的合法性，而且以缺失音节接受度判断实验考查了说话人对音节中配列规则阶层性的知识，并依据 Hayes and Wilson (2008)

的配列规则习得模型及Hayes and White (2013) 对分析偏向的处理模拟了能预测这些知识的最大熵值语法的习得。Gong and Zhang (2021)将所有使用普通话表层音段的CGVX音节分为五类：真词，声调缺失音节（存在音节与声调不共存，如[nej^{55}]），音位变体缺失音节（只违反了普通话音位变体规则的缺失音节，如[wə^{55}]），系统性缺失音节（违反了至少一条强制曲折原则的缺失音节，如[mui^{55}]），偶然缺失音节（其他不违背音位变体和强制曲折原则的缺失音节，如[nwa^{55}]）。他们的音节接受度判断实验表明说话人不仅对真词和缺失音节的区别有清楚的认识，还对不同的缺失音节有不同的接受度：声调缺失音节 > 音位变体缺失音节 > 偶然缺失音节 > 系统性缺失音节。这些实验结果并非孤立的；相似的结果可见 Wang (1998), Myers (2002), 和 Do and Lai (2020)。为了能从以普通话存在音节为基础的输入数据中习得可作出这一预测的配列规则语法，Gong and Zhang (2021) 在Hayes and Wilson (2008)的最大熵值习得模型基础上引入了一系列影响音节标记性制约权重的分析偏向（见上文(5)），例如，降低关于声调-音节共存与音位变体的标记性制约的权重，提高关于强制曲折原则的标记性制约的权重。这些分析偏向使所习得的语法模型对说话人的接受度判断作出了更好的预测。更重要的是，这些分析偏向皆有原则地源于这些制约的语音自然性与形式复杂性，因此加强了这一习得模型的解释性。

我们可以看到优选论的优势在汉语音节结构与配列规则的研究中得到了充分的体现。标记性制约与阶乘分类的使用使汉语方言中不同的音节缺失规律得到较为原则性的解释。优选论的功能性对实验音系学的促进使我们看到汉语说话人对音节结构与配列规则的潜在知识的复杂性与阶层性。而量化的优选论变体及其习得模型使我们能够对这类潜在音系知识进行模拟。

4.2 音段变体

由于汉语的语素多为音节组成，而音节之间的独立性又很强，因此词的形态变化造成音段变体的情况有限。但关于汉语音段变体的研究仍对优选论作出了贡献。林燕慧于1993发于*Language*的关于汉语方言变韵的文章（Lin 1993）虽成文早于Prince and Smolensky (1993)的优选论原著，文中也没有提到优选论，但其以模版制约来限制变韵的表层结构的分析方法凸显了表层制约的重要性，在很大程度上预示了以优选论为基础的韵律形态学（McCarthy and Prince 1993）的发展。Lin提出的“词缀实现原则”（Affix Manifestation Principle）也预示了以优选论为基础的“实现形态理论”（Realizational Morphology Theory）中的语素实现（REALIZE MORPHEME）制约（Kurisu 2001）以及“实现优选论”（Realization OT）以制约形式来要求形态特征的特殊音系体现的方法（Xu and Aronoff 2011）。举例来说，阳城方言的子变韵母将[i]变为[i:w], [a, ə, e, əʔ, ʌʔ]变为[ɔ:], [ən, ɑŋ]变为[ɐ:ŋ], [in]变为[i:ŋ], [yn, yŋ]变为[y:ŋ]。Lin认为阳城子变韵母的语素底层表征是一个带[+bk, +rd]的莫拉（μ），而子变韵母的表层模版则为一个具有两个莫拉的重音节（[μμ]$_{\sigma}$）；阳城子变韵母的表层形式可以由一系列推导规则从词干+子变韵母语素的底层表征实现，但其表层模版及词缀实现原则是推动这些变化的动力，而且在最后的输出项不可违反。北京话的儿化韵则以/r/为后缀，以单音节为模版，并且模版对音节的标记性作出规定，如对音节末辅音丛的限制。北京话儿化韵表层表征的推导也由关于模版的制约与词缀实现原则所决定。

Zhang (2000) 沿用了 Lin (1993) 对儿化韵后缀为单音节模版的分析，对北京话及其它汉语方言的儿化韵进行了进一步研究，其主要分析对象为有鼻音韵尾的词干的儿化韵。在北京话中，儿化韵对鼻音韵尾的处理依据鼻音的发音部位有所不同：舌尖鼻韵尾在儿化韵中消失，如 /p^{h}an+r/ → [p^{h}ar]，但舌根鼻韵尾在儿化韵中造成元音的鼻音化，

如 /pʰaŋ+r/ → [pʰãr]。Zhang 认为这是由于在词干中，舌根鼻音前的元音比舌尖鼻音前的元音鼻化度更强，而这一词干语音上的差异通过表层输出项之间的对应制约在儿化韵上得到了鼻化与非鼻化的范畴性体现。Zhang 用口鼻气流计对词干元音的测试证实了其对元音鼻化度的假设；在形式分析上，Zhang 用从鼻化度差别映射于普遍排列的 MAX-OO[+nas]ŋ » MAX-OO[+nas]n 及其与其它制约（如REALIZEAFFIX, *COMPLEXCODA, TEMPLATE, *Vnas）的交互作用，特别是 MAX-OO[+nas]ŋ » *Ṽ » MAX-OO[+nas]n，来解释北京儿化韵中舌尖鼻音的消失及舌根鼻音对元音的鼻化。更重要的是，在其它汉语方言儿化韵的类型学研究中，Zhang 发现鼻韵尾发音部位对儿化韵的影响体现在一个蕴涵层次上：如果舌尖鼻韵尾前的元音鼻化在儿化韵中保留，舌跟鼻韵尾前的元音鼻化也会在儿化韵中保留。Zhang 所提出的制约的阶乘分类，在 MAX-OO[+nas]ŋ » MAX-OO[+nas]n 为普遍排列的条件下，能够对这一蕴涵层次作出正确的预测。我们可以看到这一研究也利用了优选论的功能性及阶乘分类的预测性对汉语方言的音系格局作出了解释。从另一个角度来看，这一研究表明了对应制约MAX[F]的重要性，因为如果根据传统优选论，关于特征对应制约只限于IDENT[F]，那么只有范畴性的语音区别才能对形态音系作出影响；这会对制约的阶乘分类造成负面的影响，从而无法预测在类型学中已证实的音系格局。因此，汉语音段变体的研究对优选论的理论本身也有贡献。

马秋武（2008）也对北京话的儿化韵作出了分析。与 Lin (1993) 和 Zhang (2000) 不同，马秋武从历史来源和类型学的角度来看，将儿化韵的后缀视为独立音节/ər/。这一分析将汉语儿化分为三种类型：(a) 自成音节的儿尾 (/CVμμ+ərμμ/ → [CVμμ.ərμμ])；(b) 无音节性的儿尾 (/CVμμ+ərμμ/ → [CVμ.rμ])；(c) 卷舌特征 (/CVμμ+ərμμ/ → [CVrμμ]) (μ=莫拉)。而这三种类型由以下制约条件的不同排列来解释：MAX-IO, MAX-μ-IO » SUFFIXEDSTEM=σ, ALIGN-STEM-R 可产出类型(a)，MAX-IO, SUFFIXEDSTEM=σ » MAX-μ-IO, ALIGN-STEM-R 可产出类型(b)，SUFFIXEDSTEM=σ, ALIGN-STEM-R » MAX-IO, MAX-μ-IO 可产出类型(c)。马秋武将北京话的儿化视为类型(c)，并认为这一类型的儿尾在儿化词干元音后被删除（如/ku+ər/ → kurər → [kur]），因此是表层非显的晦暗现象。马以和应（共感）理论为基础对这一现象作出解释，其基本原理为以MAX-IO为和应项选择器，选择[kurər]为和应项❀，再以和应项与输出项关于r的对应制约IDENT-❀O(r)使晦暗项[kur]能够在输出项的选择中胜出。对鼻韵尾在儿化韵的消失，如 /pʰan+ər/ → [pʰar]，马以标记性制约*r/C（儿化特征不可以在辅音音段上得到体现）的高排列来保证。而舌根鼻韵尾在儿化韵中造成的元音鼻化，如 /pʰaŋ+ər/ → [pʰãr]，因造成元音鼻化的鼻韵尾在表层被删除，马也将其视为表层非显的晦暗现象，并对其作出了基于和应理论的解释。舌尖与舌根鼻韵尾在儿化韵中的不同体现则由 IDENT-❀O(nas) » *Vŋ » Ṽ » *Vn 决定（/pʰan+ər/的和应项❀为[pʰarnər]，而/pʰaŋ+ər/的和应项❀为[pʰãrŋər]）。马还以 *r/I » *r/E » *r/A » *r/U 的制约层级排列对词干韵母及韵尾滑音在儿化韵中的不同体现作出了解释。例如，*r/I » *r/U 可以使后滑音/i/消失（如/pʰai+ər/ → [pʰar]），但保留后滑音/u/（如 /pʰau+ər/ → [pʰɑur]）；也可以预测/i/和/u/韵母在儿化韵中的不同表现（如 /pʰi+ər/ → [pʰiər]，/pʰu+ər/ → [pʰur]）。

在这些北京话儿化韵的优选论分析中，一个凸显的问题是数据本身的复杂性。Zhang (2000) 提供了口鼻气流及基于EMA的发音数据，但其分析只限于关于鼻韵尾的儿化韵的体现。马秋武（2008）对北京话儿化韵的总体格局作出了分析，但对于儿化特征在韵母上的语音体现及韵母本身的表层表达则作出了众多假设。关于北京话儿化韵的语音体现及其基于社会语言学参数的自由变异与词汇变异在汉语文献中有较详尽的记载（如王理嘉、贺宁基 1985，林焘、沈炯 1995，石锋 2003等）；但儿化韵的变化纷繁复杂，因此在数据本身上仍有许多未知数。从音系语法的角度来说，如上文所

述，随机优选论以及与优选论密切相关的和谐语法和最大熵值语法具有模拟这类量化数据能力。我们希望汉语学者不仅能在数据上（如发音数据库研究，能产性实验等）对儿化韵的格局作出更精确的描述，也能在理论分析上用这些量化模型对说话人对儿化韵的潜在知识及习得过程作出更深刻、全面的解释。这些问题不仅体现在北京话儿化韵的研究上，在其它方言的音段变体研究中也有启示作用。

4.3 连读变调

作为音调语言，汉语方言中的音调常在不同的音系环境下（如相邻音调、音节在韵律或句法的位置）进行变化。我们将这些音调变体统称为连读变调（Chen 2000, Zhang 2014, 2022 等）。汉语方言的连读变调复杂多变。汉语语言学文献中（如《方言》、《中国语文》等）对多个方言的变调系统有过详尽的描述，这为探索音系理论的预测性与可行性提供了一个丰富的数据宝库。但汉语方言连读变调与优选论的相互关系相当复杂。尽管文献中有不少对方言变调系统或变调系统的类型学的优选论分析，但这些分析并不为汉语音系学界普遍接受。这与优选论在音系理论及其它音系现象上的影响力形成了鲜明的对比。在这一小节中，我们对变调文献中提到的优选论分析要点作一个简单的回顾，也对造成这一对比现象的原因进行深入的探讨。我们将看到虽然以标记性和忠实性制约的严格统制为本的传统优选论对连读变调的解释性有限，但优选论的量化变体（如最大熵值语法）对解释通过心理实验表明的说话人对连读变调的内在知识是有优势的。汉语的连读变调也对功能性在优选论中的作用及晦暗性在优选论中的处理作出了贡献。

4.3.1 变调类型学的优选论分析

Yue-Hashimoto (1987) 在其对汉语变调类型学的研究中将汉语变调系统分为“右控式”与“左控式”。北方、南部吴语和闽语方言中的变调多为右控式变调，其基本模式为保留变调域中末音节的声调，而改变非末音节的声调。北部吴语方言的变调则多以左控式变调为主，从而保留变调域中首音节的声调。Yue-Hashimoto (1987) 还指出不同方向性的变调表现方式也不同：右控变调往往涉及局限于音节的范式变调，而左控变调则常体现为首音节声调向右的延伸与扩展。Zhang (2007) 通过对类型学的进一步研究，认为这一基于方向的不对称性应以两个蕴涵层次来表达：在一个既有右控式变调也有左控式变调的语言中，如右控式变调为本调调值的延伸与扩展，则左控式变调也为本调调值延伸与扩展；如左控式变调为局限于音节的范式变调，则右控式变调也为局限于音节的范式变调。为了预测变调系统在类型学上的规律，Zhang (2007) 提出了优选论上两个基于功能性的普遍排列：*CONTOUR$_i$-NONFINAL » *CONTOUR$_i$-FINAL; FAITH-ALIGN-LEFT(i) » FAITH-ALIGN-RIGHT(i)。前者基于两个语音特性，一个是曲折调的发音与感知都需要足够的时长来体现，另一个是韵律单元的末音节由于末位延长（final lengthening）的语音效应具有比非末位音节更长的时长。后者表示声调向左延伸i个音节比声调向右延伸i个音节更严重地违反输入项到输出项的忠实性；这是因为声调的协同发音（tonal coarticulation）主要为右向的，因此声调在音系上向右延伸造成的输入项与输出项的感知距离小于向左延伸的声调造成的感知影响。这两个普遍排列与其它制约的交互作用能够捕获变调系统的蕴涵层次，也能对个体的变调系统（如塘西）进行全面而具体的解释。与此不同，Duanmu 在一系列著作中（如 Duanmu1993, 1994, 1999, 2008）提出左控与右控连读变调的类型差异源于两种语言的音节结构差异：

右控变调语言的音节为重音节，有重音，因此其声调可以保持不变或发生范式变化；左控变调语言的音节为轻音节，无重音，因此其声调往往会被删除，从而导致所保留的声调的延伸与扩展。Zhang (2007) 认为其基于优选论的解释能够根据制约的阶乘分类对变调的类型学作出更好的预测。这一点也彰显了优选论作为理论的优势。

Jiang-King (1998) 对汉语四十个方言的声调系统作了类型学研究。其研究表明这些声调系统具有以下的不对称性：(a) 高调比中调频繁，中调比低调频繁；(b) 调域小的曲折调比调域大的曲折调频繁；(c) 简单曲折调比复杂曲折调频繁；(d) 凹型曲折调比凸型曲折调频繁。Jiang-King以高调 > 中调 > 低调的响度阶为本，提出了*μ_s/[L] » *μ_s/[M] » *μ_s/[H] 的普遍排列及禁止高调与低调在同一音节中共存的的标记性制约 *H/L$^{\sigma}$，并以此来预测声调系统的不对称性。Jiang-King 在汉语方言中发现的关于曲折调的不对称性在 Zhang (2002) 对世界范围的声调语言的类型学研究中得到了进一步证实。Zhang (2002) 也用基于发音与感知的优选论普遍排列来解释曲折调的类型学特征。上文所提到的 *CONTOUR$_i$-NONFINAL » *CONTOUR$_i$-FINAL 便是其用到的普遍排列之一。

关于变调与重音的关系，Zhang (2007) 只以 MAX-DOMEDGE(Tone) 来表达变调的方向，并未将变调方向与重音相连。Yip (1999) 提出汉语方言的韵律单元为音步，而音步则为声调删除及变调的域。在音系学中表达重音的音步头由忠实性制约 HEADMAX(T), HEADDEP(T), 和 HEADIDENT(T) 来保护底层声调。依据位置忠实性（positional faithfulness）的制约排列，如 HEADMAX(T) » *T » MAX(T)，可以预测非音步头（即非重音音节）上的声调中和。如果假设韵律具有层次结构，则可以预测不同韵律层次上不同级别的声调中和，如音步头音节上的声调可以完全忠实地体现，头音步音节上的声调可以部分忠实地体现，而其它音节上的声调则可能完全中和。而且，为解释不同语速中不同的变调模式（如南通话），音步可以比双音节长，是多进制，以 FT-BIN-MAX 的低排列来体现。在这些理论背景下，Yip (1999) 对台湾闽南、温州、苏州、南通等方言变调中的声调中和情况作出了分析。但连读变调与重音的关系并非如此简单。一方面是因为汉语方言的重音经常没有清晰的声学体现；另一方面，文献中有多个重音与变调方向不相吻合的例子，例如，丹阳话（Chan 1995）和温州话（Cao 2003）都有右控式变调，但其韵律皆为左重。Chan (1995)指出这与吴语由右重到左重的历史音变有关。Li (2003) 则认为对汉语方言变调系统的分析需要辨识两种不同的显著性（prominence）：边界显著性及韵律显著性。这两类显著性在优选论中都由位置忠实性制约来控制，如 MAX(Tone)/INITIAL, IDENT(Tone)/$\acute{\sigma}$。当这些制约与关于曲折调的标记性制约，如 *CONTOUR/SHORT，起交互作用时，我们不仅可以解释重音与变调方向相吻合的方言（如烟台、厦门），也可以解释重音与变调方向不相吻合的方言（如温州、镇海）。

从这些关于类型学的优选论分析中，我们可以看到基于语音属性的制约及其普遍排列对解释连读变调类型学上的特性起到了一定的作用。但我们应当认识到不具有语音动机的连读变调在汉语方言中是相当多见的。例如，在台湾闽南话的右控变调系统中，变调域中的非末位音节都发生变调（Wang 1967, Cheng 1968；对闽南话变调域的分析，见Chen 1987和Lin 1994），而且变调规则形成为链式音移。在舒声音节中，五个声调中的四个更是形成了一个循环链，而在以-p, -t, -k为音节尾的入声音节中，两个入声调也进行循环互换，见(6)。因为本调值可以在变调音节上出现，循环链不具有配列规则上的动机，因此也不具有语音上的动机。左控变调系统也常有无法用声调的延伸与扩展来解释的变调。例如，在常州话中，尽管变调方式基本为首音节声调的向右延伸，但是55高调在变调域中延伸为中平调33：55-X → 33-33（汪平 1988）。具有循环链的范式变调在左控系统中也有可能出现。例如，在无锡话中，词首的声调必须先

进行循环范式变调后才能向右延伸（Chan and Ren 1989, Yan and Zhang 2016），见(7)。传统优选论中标记性制约与忠实性制约的排列往往对这类变调无能为力。因此，我们只能说优选论对变调类型学的大致趋势有一定的解释功用，但对变调系统中缺少无例外的法则的现象无法作出准确的预测。

(6) 台湾闽南话变调域中非末位音节的变调：

a. 舒声音节：

51 → 55 → 33 ← 24

↖ ↙

21

b. 入声音节（-p, -t, -k 为音节尾）：

5 □ 2

(7) 无锡话清音声母舒声音节的变调：

53-X → 43-34

323-X → 33-44

34-X → 55-31

降调 → 降升调

↖ ↙

升调

4.3.2 汉语方言变调的优选论分析

优选论对不同方言的变调系统的分析在文献中有不少例子。我们在这里集中概括几个较有代表性的著作。

4.3.2.1 两字组变调

对情况较复杂的两字组连读变调的优选论分析，我们以天津（王嘉龄 2002a，H.-S. Lin 2008）、平遥（Zhang 1999）、新派崇明（Chen 2000）及厦门（Barrie 2006）为例。

天津话的连读变调是变调优选论研究中最常涉及的例子。天津话两字组的连读变调规则如(8)所示。王嘉龄（2002a）使用基于声调强制曲折原则的标记性制约 *L.LL、*XY.XY、*X.X 及其与忠实性制约不删除、不增添、不变调、右字调的层级排列对这四个变调规则作出了优选论分析。H.-S. Lin (2008) 对王嘉龄的分析进行了修正，将强制曲折标记性制约分为依据整个声调的（OCP-T）及依据调素的（OCP-t），并根据声调与调素细化了忠实性制约。但其基本的分析原则与王嘉龄的是一致的。

(8) 天津话两字组的连读变调规则：

LL-LL → LH-LL

LH-LH → HL-LH

HL-HL → LL-HL

HL-LL → HH-LL

平遥话的两字组连读变调在不同构词结构上有不同的形式。在主谓和述宾词组中，连读变调为右控式变调，即只有左字变调（A类）；在其它结构中（如偏正、并列及谓补等）则左字与右字变调都有发生（B类）（侯精一 1980）。Zhang (1999) 认为平遥话的两字组连读变调由三类制约及其排列决定：(a) 关于时长对调值影响的标记性制约。这类制约又分三种：关于曲折调对音节韵时长要求的DURATION(RIME)，限制两字组中声调屈折点数目的 DURATION(WORD)，以及限制音节连接处声调变化的DURATION(BOUNDARY)；而每一种都由一族具有普遍排列的制约组成。(b) 要求相邻音节调域（register）必须不同的标记性制约。(c) 依据音节的韵律重音依次排列的保护本调调域及调型的忠实性制约 PRES(REGISTER) 和 PRES(CONTOUR)。例如，在A类变调中，13-35 → 31-35 是由于 DURATION(WORD) 要求两字组中至少有一个声调屈折点；35-35 → 31-35是由于两个音节不能调域都为高；而 35-13 → 13-13, *53-13 则是因为

DURATION(BOUNDARY) 禁止音节连接处由5到1的声调变化，并且 PRES(σ_1, CONTOUR) » PRES(σ_1, REGISTER)。在B类变调中，由于韵律重音在左，因此基本变调形式为左控式变调；但 PRES(σ_1, CONTOUR), PRES(σ_1, REGISTER) » PRES(σ_2, CONTOUR), PRES(σ_2, REGISTER) 无法解释左字为阴平与阳平时个别的变调情况，如 13(阳平)-35 → 31-35, 31(阴平)-35 → 13-13。

新派崇明话单音节有八个声调，但在双音节词中声调发生复杂的中和现象，整体上只有八个调型。声调有时变调，有时被删除。而变调及被删除的声调有时在左，如 LM-MH → HM-MH, Hq-MH → o-MH（"q"表示入声，"o"表示被删除的声调），有时在右，如 HM-LM → HM-MH, H-ML → H-o。声调变调与删除也可能在同一两字组中出现，如 MH-L → o-H，L-LM → LM-o。Chen (2000)第五章对新派崇明两字组连读变调的优选论分析应用了以下两种标记性制约：对音节上声调的制约，如*Tq（首音节入声无调），*O↓（无低调域的曲折调），*E↓（除在首音节外，无低调域的平调），*FALL（无末音节降调）；对双音节声调组合的制约，如*E/O（两个音节的声调不能是平调-曲折调或曲折调-平调），OCP（无升调-升调或降调-降调的组合）。关于声调的忠实性制约则分为IDENT-Cp（保留重音（右侧）音节曲折调调型），IDENT-C（保留曲折调调型），IDENT-REG（保留调域），PRES-E（保留平调），PRES-T↑（保留高调域调），PRES-Tp（保留重音（右侧）音节调值），PRES-T（保留声调）等，并有 IDENT-Cp » IDENT-C及PRES-T↑ » PRES-Tp » PRES-T 的普遍排列。这些制约及其排列可以解释大多数变调形式。但 Chen 指出优选论语法所推导的表层声调在语音上有音位变体，如H在词末由于边界调体现为HM，L在重音音节体现为LM。这些音位变体会造成表层非真的晦暗现象，如 H-H → H-HM（H调变体），但 H-HM → H-o（连读变调）。另一个问题是一种本调组合有时会有多个不同的变调体现，而这些不同的变调体现使用频率又不相同。这些问题进一步复杂化了崇明变调的优选论分析。

Barrie (2006) 对厦门闽南话的变调循环链（见上文(6)）依据 Lubowicz (2003) 保持对立（PRESERVE-CONTRAST）的主旨进行了解释。Barrie以Register（调域）和Pitch（调值）两个特征来表征声调，因此厦门话的五个舒声调可表征为 [U, lh], [L, h], [L, hl], [U, hl], [U, h]，而其变调循环链则为(9)。PRESERVE-CONTRAST 制约对整个变调系统作为输出项进行评估，分为 PC_{OUT}(Register) 和 PC_{OUT}(Pitch)，分别评估调域和调值在输出项所保持的对立。另外，音系语法中还有 *CONTOUR, *RISE, *HIGH 等评估声调系统中个体声调标记性制约。*RISE, PC_{OUT}(Register) » PC_{OUT}(Pitch), *CONTOUR, *HIGH 的制约排列可以解释厦门话的变调循环链。例如，例(10)中的评估表表明具有循环链的变调系统(a)因 [U, h] → [L, h] ← [U, lh] 中和了h与lh的Pitch特征，因此违反 PC_{OUT}(Pitch)；Register 特征由于[U, h]与[U, lh]均为U没有中和，因此不违反 PC_{OUT}(Register)；其它变调也因为链式变调保持了Register与Pitch的对立。如变调只是 [U, lh] → [L, h] (b)，则既违反 PC_{OUT}(Register)（U~L中和），也违反 PC_{OUT}(Pitch)（lh~h中和）。如所有声调都不变调(c)，则系统由于[L, hl]的存在而违反*RISE（Barrie 2006第138页）。更详尽的解释请见 Barrie (2006)。但这一分析由于将整个变调系统，而不是个体变调值，作为优选评估项，所以无法应用优选论现有的习得模型对习得作出预测，这也削弱了优选论作为理论的优势。

(9) 厦门话舒声调变调（Barrie 2006）：

[U, hl] → [U, h] → [L, h] ← [U, lh]

↖ ↙

[L, hl]

(10) 厦门话舒声调变调评估表（例）：

		*RISE	PCOUT(Register)	PCOUT(Pitch)
a.	☞ [U, hl] → [U, h] → [L, h] ← [U, lh] ↖ ↙ [L, hl]			*
b.	[U, hl] [U, h] [L, h] ← [U, lh] [L, hl]		*!	*
c.	[U, hl] [U, h] [L, h] [U, lh] [L, hl]	*!		

在这些有代表性的两字组连读变调的优选论分析中，我们可以看到标记性制约可分为对单音节声调的限制（如 Zhang 的 DURATION(RIME)，Chen 的 *FALL, *O↓）及对双音节声调组合的限制（如 H.-S. Lin 的 OCP-T，OCP-t，Chen的*E/O）。这些制约多与语音功能性相关。忠实性制约则依据分析人对声调特征的假设而定，但音节重音、长短或位置对声调忠实性的影响在所有分析中都得到了体现。相对应的忠实性制约的普遍排列也与语音功能性相关。这些基本方法与上文提到的变调类型学的解释有很多相似的地方。但我们也看到当变调行为复杂时，这些分析往往不能解释所有的变调形式。而且，这些分析所依据的传统变调描述往往不涉及变异与例外，但变异与例外在汉语方言变调中常有发生。例如，关于天津话的语音学和社会语言学研究表明上文(8)所提到的四个变调规则在天津话中有不同的应用率：石锋（1988）指出四个变调规则的应用率由高到低为 LH-LH, LL-LL, HL-HL, HL-LL；石锋、王萍（2004）则认为HL-LL的变调在30岁以下的发音人中已消失（也见 Liu and Gao 2003, Gao 2004 和 Zhang and Liu 2016）。这些数据上的复杂性在优选论的分析中也因此没有体现。

4.3.2.2 两字组变调的能产性研究

以上两字组变调优选论分析的另一个局限在于，由于这些分析并不限于固有词汇，因此它们预测这些方言的变调系统都应在新词中具有能产性。这一预测在有些方言中可能是正确的，但在有些方言中与能产性实验结果不相符合。这一点在具有晦暗性的链移变调中体现得尤为明显。

关于闽南话变调循环链的能产性研究已有多年的历史。Hsieh (1970，1975，1976)及王旭（1993）用一系列新词实验对台湾闽南话变调的能产性提出了质疑。例如，Hsieh (1970) 测试了七位发音人对五类皆为动宾结构的词（(a) 方言中的固有双音节词汇；(b) 由两个固有音节组成的新词；(c) 由一个意外缺失的音节与一个固有音节组成的新词；(d) 由一个固有音节与一个意外缺失的音节组成的新词；(e) 由两个意外缺失的音节组成的新词）的变调反应，结果表示发音人在首音节为固有音节时的变调正确率为100%，但在首音节为意外缺失的音节时的变调正确率仅为10%-30%，而在非正确变调中，70-90%为不变调。本人与合作者近年对台湾闽南话双音节词（Zhang, et al. 2009，张杰 2021）及双音节与三音节叠词（Zhang, et al. 2011; Zhang and Lai 2008）中的变调能产性的研究也发现了类似的结果。Yan and Zhang (2016) 对上文提到的无锡话两字组变调的能产性作出了研究。其结果发现词首声调的向右延伸在词首音节为意外缺失音节的新词中是具有能产性的，但其循环范式变调则不具能产性，因此53-X与其

变为43-34，反而变为55-33。这说明说话人可以将一个变调规律依据音系规则的晦暗性分为不同方面来习得。这些研究与实验音系学中从说话人的音系知识及习得的角度来看音系晦暗性的本质的研究相接口（Sanders 2001, Mielke et al. 2003, Sumner 2003, Green 2004, Ettlinger 2008, Kim 2012等）。Zhang and Lai (2008)，Zhang, et al. (2009)，Zhang, et al. (2011)，及 Yan and Zhang (2016) 借鉴了 Zuraw (2000, 2010) 的列举 / 生成理论，以最大熵值语法对闽南话及无锡话中的循环链变调在固有词和新词中的体现作出了分析。这些分析认为语言中固有词的变调行为在词库中列举，并被列举制约所保护。关于变调列举的制约可有不同等级的概括性，如双音节词声调，单音节词素的声调变体，音节的声调变体等。在习得过程的模拟中可以以前文所提到的“分析偏向”（Wilson 2006）来限制不同等级的列举制约的权重调整，从而使关于双音节词声调的列举制约的权重更容易升高，而关于音节声调变体的列举制约的权重则不易升高。循环链变调由于无法被标记性制约所触发（例如，台湾闽南话中的 33 → 21 无法由*非末位33触发，因为33调作为55调的变调在非末位是合法的），也因此无法由标记性制约 » 忠实性制约的排列来解释，所以只受辖于列举。在固有词中，由于双音节词声调列举制约的高权重，循环变调可具有完全能产性；在新词中，由于关于音节声调变体的列举制约权重较低，循环变调则不具有完全的能产性。非晦暗的变调则可既由列举，又由标记性制约 » 忠实性制约来生成，因此在固有词和新词中都具能产性。对闽南话及无锡话变调语法的具体讨论，请见上文提及的文献。

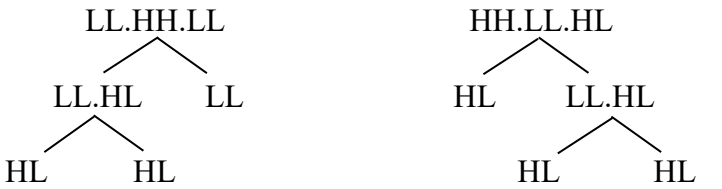
4.3.2.3 三字组变调

相比天津话的两字组变调，其三字组变调在优选论文献中引起了更多的争论。这是因为在三字组中有两字组变调的应用方向是从左到右还是从右到左的问题。在64种天津话三字组的声调组合中，七种有这一方向问题。更重要的是，这七种组合的方向并不一致。例如，HL.HL.LL → LL.HL.LL → LL.HH.LL 需要从左到右的变调（*HL.HL.LL → HL.HH.LL → HL.HH.LL）；HL.HL.HL → HL.LL.HL → HH.LL.HL 则需要从右到左的变调（*HL.HL.HL → LL.HL.HL → LL.LL.HL）。由于优选论摒弃了串行处理，如何解释推导规则应用的方向性与解决基于规则排列的晦暗性相似，已经是其难点之一，天津话三字组中变调方向的不一致性更是提高了优选论分析的难度。

Chen (2000) 在第三章中提出了两种天津话三字组变调的解释方案。第一种为依据推导规则的串行处理方法，但以一系列制约条件来决定变调应用的方向性。例如，以OCP为本的合格条件（Well-formedness conditions）比从左到右的自然方向性更重要，从而决定HL.HL.HL必须从右到左进行变调，因为从左到右变调会产生违反*LL.LL的输出项。这一解释方案类似于传统音系学中以制约来触发或阻断推导规则的理论。Chen的第二个解释方案基于优选论。在考虑了多种基于制约的非串行方法后（如ALIGNMENT，OCP, *H, *L, *R, *F 等标记性制约，输入项与输出项的声调对应），Chen认为天津话三字组变调的方向性需要具有和谐串行模式（Harmonic Serialism）的优选论来解释，也就是说，从输入项开始，评估器对只进行一个变化的音系表征进行评估，然后将最优项作为输入项，对进一步变化的音系表征进行再评估，这一过程延续至输出项收敛。Prince and Smolensky 在1993年的优选论原著中便提到了和谐串行模式，但基于这一模式和候选项链的优选论（OT-CC）直到McCarthy (2007) 才作为晦暗性的解释工具所完善。因此Chen (2000) 在警示完全并行的优选论在解释天津话三字组变调的局限性时，也预示了和谐串行模式在理论上的重要性。

与Chen (2000) 的分析不同，H.-S. Lin (2008) 和Wee (2004, 2010) 用了两种不同的对应理论变体来解释天津话三字组的变调。H.-S. Lin (2008) 提出天津话三字组的韵律结构不论形态句法结构都是左分支的($(\sigma_a\sigma_b)\sigma_c$)，而基层两字组韵律结构($\sigma_a\sigma_b$)的表层声调与这两字组在高层三字组的表层声调由 IDENT-BO$_T$ 的对应制约保持一致。在制约排列上，IDENT-BO$_T$低于OCP等标记性制约，但高于 IDENT-IO$_T$。这一制约排列可以预测不同声调组合的不同变调方向。例如，HL.HL.LL 进行从左到右的变调变为 LL.HH.LL，因为其比从右到左的变调 HL.HH.LL 更好地满足与基层韵律结构的表层声调 LL.HL 的对应；但HL.HL.HL 则需要从右到左的变调变为 HH.LL.HL，因为虽然从左到右的变调 LL.LL.HL 更好地满足了 IDENT-BO$_T$（基层韵律结构的表层声调仍为LL.HL），但其违反了层级排列更高的OCP制约。Wee (2004, 2010) 则认为变调方向决定了三字组的韵律层次结构—从左到右的变调为左分支结构，从右到左的变调为右分支结构。层次结构中的节点则体现了两字组变调结果，如(11)所示。在每个候选项中，不同层级上的声调则由跨层级的对应制约来约束。尽管Wee与H.-S. Lin对韵律层次结构的看法不同，但两者的分析都利用了与输出项之间的对应制约（Output-Output correspondence）相似的办法来参考串行处理的中间项，使其能够影响三字组的输出项。

(11)



马秋武（2008）使用了和应理论来解释天津话的三字组变调，其基本原理为以中间声调的忠实性制约作为和应候选项的选择器，再在语法中加入表层声调与和应候选项声调的对应制约；当这类对应制约排列低于OCP等标记性制约及最右侧声调的忠实性制约，但高于其它忠实性制约时，这一语法也可以解释天津话三字组变调方向的不一致性。

我们应当看到不论是和谐串行模式、非输入-输出的对应理论、还是和应理论，这些方法都是前文所提到的优选论解决晦暗性问题的方法，也都在不同程度上模拟了传统音系学的串行处理。尽管这些分析看似正确地推导出了表层的变调值，但我们仍然面对前文所提到的能产性、变异、及例外等多个问题。这些问题涉及我们所分析的数据的准确性，因此必须受到重视。例如，Li and Chen (2016) 对六位1980年后出生的天津城区发音人的三字组连读变调的语音研究表明，这些发音人的变调方向性问题比传统描述要简单很多：HL-HL → LL-HL 和 HL-LL → HH-LL 的变调只能应用于右侧的两音节上，而 LL-LL → LH-LL 的变调只能应用于左侧的两音节上，从而大幅度简化了对串行处理的要求。因此我们对天津话固有三字组变调数据的准确性有商榷的余地。而我们对天津话变调在新三字组中的能产性则基本处于未知。

除了天津话，文献中还有很多对其它方言三字组连读变调的描述与分析。特别值得提到的是Chen (2004) 对长汀客家话三字组变调的分析。长汀话的变调具有更复杂的方向性问题，我们这里由于篇幅所限，无法赘述。但重要的是Chen表明，即使使用了和应理论与比较标记理论（Comparative Markedness; McCarthy 2003），优选论也无法对其复杂的形式作出合理的解释。这表明复杂结构的连读变调不仅对数据的准确性，也对理论的解释性提出了重要的挑战。

4.4 借词音系

借词音系对音系理论，特别是优选论的发展起了重要的作用。这些作用在与汉语方言及少数民族语言相关的借词音系现象上有诸多体现。谢丰帆（2014）对此作了精辟及全面的论述。因此我们在这里仅对相关问题及文献作一个简单的回顾。有兴趣的读者请见谢文。

借词音系对音系理论的重要性主要体现在以下几个方面。第一，借词音系可以作为现实生活中的新词实验为目标语言的音系语法提供目标语言本身无法提供的证据（Kang 2011）。例如，普通话中的固有词汇无法对*音节末CC的高排列提供直接证据，因为词汇中的音节没有违反*音节末CC的例证。但英语在普通话的借词中则能直接体现*音节末CC » 忠实性制约的排列，如 *Alex* [ˈælɪks] > ā.liè.kè.sī 体现了*音节末CC » 不增添元音。这也为优选论提供了间接的证据。如果音系系统以推导规则为本，上例所示的元音增添规则只能应用于借词中，而在普通话的固有词汇中没有体现。在优选论下，其语法则不必划分固有词与借词的区别，因为依据“底层丰富”的原则，音节末CC已在丰富的底层中存在，所以普通话的音系语法必须将其在表层中筛选掉。这对固有词与借词是一样的，只是音节末CC在来源语中有直接的体现而已。又如，借词音系可对从目标语中无法论证的忠实性制约的排列提供证据。如粤语中英语借词 *tab* > [tap], *[tabu], *[ta] (Silverman 1992) 体现了 MAX(C), DEP(V) » IDENT(voice) 的制约排列；但这一排列无法在粤语本身中找到证据，因为粤语中没有浊阻塞音的存在。这些隐蔽的排列有可能是普遍语法或习得初始状态的体现。这一点在Hsieh and Kenstowicz (2008) 对拉萨藏语中汉语和英语借词的研究中体现得尤其明显。Hsieh and Kenstowicz 的研究表明，拉萨藏语借词的声调与汉语的声调或英语的重音没有对应关系，反而是以“清高浊低”的准则为本。由于“清高浊低”在拉萨藏语本身中并没有显著的词频体现，这一现象表明我们可以从借词中看到普遍语法中的无标预设值。Hsieh and Kenstowicz 将其认为清浊增强效应（enhancement effects）的体现，并以共存（cooccurrence）制约（[浊音] → [低调]，[清音] → [高调]）在优选论语法中对其作出了解释。

第二，我们可以从借词音系中衡量感知对音系的作用。例如，从粤语的英语借词中我们可以看到，对词末辅音丛的简化受辅音是咝擦音还是塞音的影响，咝擦音由于其感知上的显著性，比塞音更可能被保留，如 *cast* [kʰæst] > [kʰa.si]（Silverman 1992, Yip 1993）。又如，Y.-H. Lin (2008) 对普通话中英语借词的研究表明，在元音的对应上，舌位前后特征的保留比高低特征的保留更重要（*Reagan* [ɹ**ei**.gən] > lǐ.gēn [l**i**.kən], *Ford* [fɔɹd] > fú.tè [f**u**.tɤ]）。这一现象无法从音系对立的角度来解释，因为普通话元音的高低特征有对立性，而前后特征没有对立性（Duanmu 2007, Lin 2007），但从感知上有解释的可能，因为有实验表明普通话说话人对元音前后的感知可以相当精确（Gong and Zhang 2021），因此不一定比元音上下的感知弱。普通话说话人对元音前后感知的显著性在对英语/æ/与/ɑ/的借用中也有体现。普通话的[a]与[ɑ]是由音节尾发音部位决定的音位变体（[an], [ɑŋ], *[aŋ], *[ɑn]），但英语借词则由元音前后，而非音节尾发音部位决定，如 *tank* [tʰ**æŋ**k] > tǎn.kè [tʰ**an**.kʰɤ], *Don* [d**ɑn**] > táng [tʰ**ɑŋ**]（Hsieh et al. 2009）。借词音系的理论模型主要是依据感知如何在音系语法中体现而分为三类。Paradis and Lacharité (1997, 2001, 2008) 和 Lacharité and Paradis (2005) 等的底层音系对应理论认为借词主要源于对来源语与目标语都能熟练使用的双语者，而这些双语者对两种语言音系的底层结构都有所了解，因此借词音系主要以底层音系特征的对应来决定，而与感知无关。这一理论对真正有众多双语说话人的借词现象（如英语与法语，英语与西班牙语）有一定的解释作用，但往往无法解释汉语与其它语言借词的音系对应。Dupoux et al. (1999) 和 Peperkamp et al. (2008) 等的感知对应理论则认为借词以来源语的声学表征为输入值，以此对应目标语中的感知，因此借词改造主要源于由目标语

音系语法所造成的对来源语声学表征的感知错误。这一理论最著名的例证是日语外来语借词中的元音插入可以由日语说话人对辅音丛的错误感知（如[ebzo]被日语说话人听为/ebuzo/）所决定。但文献中有不少借词改造不与感知直接相关的例证。例如，韩语对英语借词中非法辅音丛的改造方法主要是元音插入，但依据辅音丛的不同，韩语说话人对有些CC与CʊC在感知上是可以区分的，如 [km]~[kʊm], [gm]~[gʊm]（Kabak and Idsardi 2007）。Yip (2006) 提出了一个汉语中的借词例证。大陆普通话与台湾普通话对英语借词音节尾辅音的改造往往不同：大陆普通话更倾向于元音插入，而台湾普通话更倾向于辅音删除，如 *Titanic* > tài.tǎn.ní.kè（大陆）, tài.tǎn.ní（台湾）。这一不同很难用感知来解释，因为大陆与台湾普通话的说话人不太可能对音节尾辅音有不同的感知。Yip认为这一现象源于借词音系语法的不同：来源语与目标语音系的感知相似度可由优选论忠实性制约MIMIC来衡量，大陆普通话借词音系中 MIMIC(C-CV) » MIMIC(C-Ø)，台湾普通话借词音系中则 MIMIC(C-Ø) » MIMIC(C-CV)。这一分析是第三类借词音系理论模型的体现。这一模型是上两类模型的杂交，一方面承认了感知对借词改造的作用，另一方面将感知作为忠实性制约涵盖在音系语法中，以其与其它制约的交互作用来预测借词的改造方法（Kang 2003, Shinohara 2006, Kawahara 2006, Kenstowicz 2007 等）。上文提到的Y.-H. Lin (2008) 及 Hsieh et al. (2009) 也以这一理论对其讨论的普通话中的英语借词现象作出了分析。Y.-H. Lin 用 MIMIC-BACK » MIMIC-HIGH 来解释元音对应，而 Hsieh et al. 则用 IDENT(BACK)$_{\text{English-Mandarin}}$ » IDENT(PLACE)-CODA 来解释元音前后与音节尾发音部位的关联。这些制约排列都与感知直接相关。

第三，借词音系的研究与上文提到的变异、例外与能产性现象息息相关。这是因为借词音系往往受多种外在因素的影响，从而具有复杂的变异及例外的情况。这些外在因素包括借入的时间及渠道（口语还是书写），借入者对两种语言的熟悉情况，来源语与目标语的方言，书写系统的影响，以及是否有政府标准化的介入。例如，“的士”显然是从英语 *taxi* [ˈtʰæksi] 由粤语 [tʰek^{5} siː^{35}] 而借入，因此其普通话发音 dí.shì [ti.ʂʅ] 与英语发音对应不明晰。*Reebok* [ˈɹi.bɑk] > 锐步 ruì.bù [ɻweɪ.pu], *hip-hop* [ˈhɪp.hɑp] > 嘻哈 xī.hā [ɕi.xa] 等借词则由于汉字的合意性对发音的规整性作出了牺牲。人名、地名的借词也常因为对姓氏或地标的偏好而影响发音的对应，如 *Gore* [gɔɹ] > 高尔 gāo.ěr [kɑʊ.əɻ], *Ann Arbor* [ˌæn.ˈɑɪ.bɚ] > 安娜堡 ān.nà.bǎo [an.na.pɑʊ]。又如，英语的词首清浊塞音与普通话的送气与非送气塞音在语音上有清楚的对应，但从普通话中英语借词的总体规律来说，这一对应也只是统计上的，而非绝对的（于辉 2011）：英语词首浊塞音绝大多数借为普通话非送气塞音，但清塞音则既可能借为送气塞音（如 *puff* [**pʰ**ʌf] > 泡芙 pào.fū [**pʰ**ɑʊ.fu]），也可能借为非送气塞音（如 *pudding* [ˈ**pʰ**ʊɪŋ] > 布丁 bù.dīng [**p**u.tjəŋ]）。这些现象一方面体现了借词音系研究的复杂性，另一方面也表明了对词库中非绝对性的统计规律的解释在理论音系学上的重要性。在对借词统计规律的优选论解释上，我们可借鉴 Zuraw et al. (2019), Glewwe (2021), 及 Katsuda (in press)。与此紧密相关的另一个问题是由于借词所造成的词汇的层级性（lexical stratification）。音系学中词汇层级性最著名的例子大概是日语。日语中依据词汇是本国语、汉语借词、象声词、还是西方外来词有不同的音系特性（Ito and Mester 1995, 1999, 2008）。例如，将复合词第二个成分的起首辅音浊化的连读浊化现象（Rendaku）只在本国语中发生（/nise-**k**ane/ → [nise-**g**ane]‘假钞’，/garasu-**t**ana/ → [garasu-**d**ana]‘玻璃架子’），而不在其它词汇层次上起作用（/nise-**k**in/ → [nise-**k**in]‘假钞’，/garasu-**k**eesu/ → [garasu-**k**eesu]‘玻璃架子’）；将p限制在长辅音pp或mp中的*P制约只在本国语及汉语借词中有效；禁止长浊阻塞音的*DD制约只在本国语、汉语借词及象声词中有效，等等。Ito and Mester (2008) 以管辖特定层级的忠实性制约（如 IDENT(voice)$_{\text{本国语}}$）来解

释这一现象；而 Ota (2004) 则以管辖特定层级的标记性制约（如 *DD$_{本国语}$）作为其理论分析的依据。说话人如何习得不同词汇层级的音系特性是对音系习得理论的一大挑战。为解决这个问题，我们必须回答两个相关的子问题。第一，说话人对不同层级的音系特性是否都具有能产性。如是，那么习得模型如何能从输入数据中将词汇有效地分成不同层级？如否，那么为什么说话人的潜在音系知识与语言中词汇所体现的规则不匹配？关于这些问题在日语中的体现，见 Moreton and Amano (1999), Ota (2004), Shaw (2006), 和 Gelbart and Kawahara (2007)。考虑到语言本身词汇中变异与例外所造成的层级复杂性，并依此对新借词的音系改造进行模拟的研究，请见 Zuraw (2000)。汉语中对词汇层级性的研究也有很长的历史。这可以体现在不同历史层次中不同的接触方言或语言对一个语言的影响（外源性层次；如少数民族语言中的汉语借词），也可以体现在语言本身在不同历史层次中所体现的不同变化（内源性层次）（见王福堂 1999，潘悟云 2006 等）。但对这些现象的共时心理特性及理论分析的研究还待进行。因此与汉语相关的借词研究对理论发展的贡献也大有发掘之处。

5. 结语

本文对近三十年来优选论理论的发展及优选论在汉语音系分析中的应用作了一个简介。我们可以看到优选论与汉语音系学起到了相辅相成的作用。一方面来说，优选论为汉语音节结构与配列规则、音段变体、连读变调、及借词的分析研究提供了一个理论模版。其促进作用在于它对关于这些音系现象的类型学及说话人的潜在知识都能作出预测。而优选论的量化变体（如随机优选论和最大熵值语法）对量化数据解释性的增强也近一步拉近了音系理论与汉语实际数据的距离。另一方面，汉语的音系研究也对优选论理论的发展起到了重要的作用。这一点在汉语音段变体的模版形式及汉语方言中连读变调的分析对理论提出的挑战表现得尤为明显。我们也看到汉语音系研究对优选论理论发展的贡献仍有潜力。这些潜力特别体现在对复杂语音与音系现象的量化描述上（如儿化韵，连读变调，借词等）。这些描述不仅包括发音数据及统计规律的描述，也包括心理、甚至神经语言学实验数据的描述。这类数据将促使我们不断地测试与完善理论对说话人的潜在音系知识及其习得过程的预测能力，也因此进一步验证理论与实践相辅相成的关系。

References［引用文献］

Anderson, Stephen. 1981. Why phonology isn't "natural." *Linguistic Inquiry* 12: 493-539.

Archangeli, Diana and Douglas Pulleyblank. 1994. *Grounded Phonology*. Cambridge, MA: MIT Press.

Bailey, Todd M., and Ulrike Hahn. 2001. Determinants of wordlikeness: Phonotactics or lexical neighborhoods. *Journal of Memory and Language* 44: 568-591.

Bakovic, Eric. 2007. A revised typology of opaque generalisations. *Phonology* 24: 217-259.

Bakovic, Eric. 2011. Opacity and ordering. In John A. Goldsmith, Jason Riggle, and Alan Yu (eds.), *The Handbook of Phonological Theory*, 2nd edition, pp. 40-67. Oxford: Wiley-Blackwell.

Barrie, Michael. 2006. Tone circles and contrast preservation. *Linguist Inquiry* 37: 131-141.

Beguš, Gašper. 2022. Distinguishing cognitive from historical influences in phonology. *Language* 98.1: 1-34.

Benua, Laura. 1997. *Transderivational Identity: Phonological Relations between Words.* Ph.D. dissertation, University of Massachusetts, Amherst.
Berko, Jean. 1958. The child's learning of English morphology. *Word* 14: 150-77.
Blevins, Juliette. 2004. *Evolutionary phonology: The emergence of sound patterns*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
Boersma, Paul. 1998. *Functional Phonology — Formalizing the Interactions between Articulatory and Perceptual Drives*. The Hague: Holland Academic Graphics.
Boersma, Paul and Bruce Hayes. 2001. Empirical tests of the gradual learning algorithm. *Linguistic Inquiry* 32: 45-86.
Cao, Shane Xuexin. 2003. Resolving tension between tone and stress: A two-way model. *Cahiers Linguistiques d'Ottawa* 31: 95-120.
Chan, Marjorie K.-M. 1995. An autosegmental analysis of Danyang tone sandhi: some historical and theoretical issues. In 徐雲揚 (ed.), 吳語研究, pp. 145-184. Hong Kong: New Asia Academic Publishing.
Chan, Marjorie K. M. and Hongmo Ren. 1989. Wuxi tone sandhi: From last to first syllable dominance. *Acta Linguistica Hafniensia* 21: 35-64.
Chen, Matthew Y. 1987. The syntax of Xiamen tone sandhi. *Phonology Yearbook* 4: 109-150.
Chen, Matthew Y. 2000. *Tone Sandhi: Patterns across Chinese Dialects*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
Chen, Matthew Y. 2004. Changting Hakka tone sandhi: Analytical challenges. *Language and Linguistics* 5.4: 799-820.
Cheng, Robert L. 1968. Tone sandhi in Taiwanese. *Linguistics* 41: 19-42.
Chomsky, Noam. 1965. *Aspects of the Theory of Syntax*. Cambridge, MA: The MIT Press.
Chomsky, Noam and Morris Halle. 1968. *The Sound Pattern of English*. New York: Harper and Row.
Coetzee, Andries and Joe Pater. 2011. The place of variation in phonological theory. In John A. Goldsmith, Jason Riggle and Alan C. L. Yu (eds.), *The Handbook of Phonological Theory*, 2nd edition, pp. 401-434. Cambridge, US and Oxford, UK: Blackwell.
Do, Youngah and Ryan Ka Yau Lai. 2020. Incorporating tone in the modelling of wordlikeness judgements. *Phonology* 37.4: 577-615.
Duanmu, San. 1993. Rime length, stress, and association domains. *Journal of East Asian Linguistics* 2: 1-44.
Duanmu, San. 1994. Syllabic weight and syllabic duration: A correlation between phonology and phonetics. *Phonology* 11: 1–24.
Duanmu, San. 1999. Metrical structure and tone: Evidence from Mandarin and Shanghai. *Journal of East Asian Linguistics* 8: 1-38.
Duanmu, San. 2007. *The Phonology of Standard Chinese, 2nd edition*. Oxford, UK: Oxford University Press.
Duanmu, San. 2008. *Syllable structure — the Limits of Variation*. Oxford: Oxford University Press.
Dupoux, Emmanuel, Kazuhiko Kakehi, Yuki Hirose, Christophe Pallier, and Jacques Mehler. 1999. Epenthetic vowels in Japanese: a perceptual illusion? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 25: 1568-1578.
Ettlinger, Marc. 2008. *Input-driven opacity*. Ph.D. dissertation, University of California, Berkeley.
Flemming, Edward. 2001. Scalar and categorical phenomena in a unified model of phonetics and phonology. *Phonology* 18: 7-44.
Flemming, Edward. 2021. Comparing MaxEnt and Noisy Harmonic Grammar. *Glossa* 6.1: 141, 1-42.

Friederici, Angela D. and Jeanine E. Wessels. 1993. Phonotactic knowledge of word boundaries and its use in infant speech perception. *Perception and Psychophysics* 54: 287-295.

Frisch, Stefan A., Nathan R. Large, and David B. Pisoni. 2000. Perception of wordlikeness: Effects of segment probability and length on the processing of nonwords. *Journal of Memory and Language* 42: 481-496.

Fromkin, Victoria (ed.). 2000. *Linguistics: An Introduction to Linguistic Theory*. Malden, MA: Blackwell.

Gao, Jing. 2004. The changing sandhi rules in Tianjin dialect. In Lu Ji-Lun (ed.), *Phonetic and phonological studies on Tianjin dialect: Festschrift for Professor Wang Jialing's 70th birthday*, pp. 193-247. Beijing: Beijing Institute of Technology Press.

Gelbart, Ben and Shigeto Kawahara. 2007. Lexical cues to foreignness in Japanese. *Proceedings of Formal Approaches to Japanese Linguistics* 4: 49-60. *MIT Working Papers in Linguistics*, Cambridge, MA.

Glewwe, Eleanor 2021. The phonological determinants of tone in English loanwords in Mandarin. *Phonology* 38: 203-239.

Goldsmith, John. 1976. *Autosegmental Phonology*. Ph.D. dissertation, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.

Goldwater, Sharon and Mark Johnson. 2003. Learning OT constraint ranking using a maximum entropy model. In Jennifer Spenader, Anders Eriksson, and Osten Dahl (eds.), *Proceedings of the Stockholm Workshop on Variation within Optimality Theory*, pp. 111-120.

Gong, Shuxiao and Jie Zhang. 2021. Modelling Mandarin speakers' phonotactic knowledge. *Phonology* 38.2: 241-275.

Green, Anthony Dubach. 2004. Opacity in Tiberian Hebrew: Morphology, Not Phonology. *ZAS Papers in Linguistics* 37: 27-70.

Guo, Zhongzi (郭中子). 2012. 音系学中的功能主义趋势 (The tendency of functionalism in phonology). *外国语 (Journal of Foreign Languages)* 33.3: 32-40.

Guo, Zhongzi and Qiuwu Ma (郭中子、马秋武). 2018. 优选论在中国的研究现状、特点和发展趋势（2008-2018）—一项基于CSSCI来源期刊的文献计量学研究 (The current status, characteristics, and developmental trends of Optimality Theory in China (2008-2018) — A bibliometric study based on CSSCI journals). *天津外国语大学学报 (Journal of Tianjin Foreign Studies University)* 26.1: 138-151.

Hammond, Michael. 2004. Gradience, phonotactics, and the lexicon in English phonology. *International Journal of English Studies* 4: 1-24.

Hansson, Gunnar Ólafur. 2008. Diachronic explanations of sound patterns. *Language and Linguistics Compass* 2.5: 859-893.

Hayes, Bruce. 1999. Phonetically driven phonology: The role of Optimality Theory and inductive grounding. In Michael Darnell, Edith Moravscik, Michael Noonan, Frederick Newmeyer, and Kathleen Wheatly (eds.), *Functionalism and Formalism in Linguistics, Volume I: General Papers*, pp.243-285. Amsterdam: John Benjamins.

Hayes, Bruce. 2004. Phonological acquisition in Optimality Theory: the early stages. In René Kager, Joe Pater, and Wim Zonneveld (eds.), *Fixing Priorities: Constraints in Phonological Acquisition*, pp. 158-203. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Hayes, Bruce and Zsuzsa Cziráky Londe. 2006. Stochastic phonological knowledge: the case of Hungarian vowel harmony. *Phonology* 23: 59-104.

Hayes, Bruce, and James White. 2013. Phonological naturalness and phonotactic learning. *Linguistic Inquiry* 44.1: 45-75.

Hayes, Bruce and Colin Wilson. 2008. A maximum entropy model of phonotactics and phonotactic learning. *Linguistic Inquiry* 39.3: 379-440.
Hou, Jingyi (侯精一). 1980. 平遥方言的连读变调 (Tone sandhi in the Pingyao dialect). *方言 (Dialects)* 1980.1: 1-14.
Hsieh, Feng-fan and Michael J. Kenstowicz. 2008. Phonetic knowledge in tonal adaption: Mandarin and English loanwords in Lhasa Tibetan. *Journal of East Asian Linguistics* 17: 279-297.
Hsieh, Feng-fan, Michael J. Kenstowicz, and Xiaomin Mou. 2009. Mandarin adaptations of coda nasals in English loanwords. In Andrea Calabrese and W. Leo Wetzels (eds.), *Loan Phonology*, pp. 131-154. Amsterdam: John Benjamins.
Hsieh, Feng-fan (谢丰帆). 2014. 借词音系学与汉语借词研究 (Loanword phonology: A Chinese perspective). *当代语言学 (Contemporary Linguistics)* 16.3: 358-371.
Hsieh, Hsin-I. 1970. The psychological reality of tone sandhi rules in Taiwanese. In Mary Anne Campbell (ed.), *Papers from the 6th Meeting of the Chicago Linguistic Society*, pp. 489-503.
Hsieh, Hsin-I. 1975. How generative is phonology. In Ernst Frideryk Konrad Koerner (ed.), *The Transformational-Generative Paradigm and Modern Linguistic Theory*, pp. 109-144. Amsterdam: John Benjamins.
Hsieh, Hsin-I. 1976. On the unreality of some phonological rules. *Lingua* 38, 1-19.
Ito, Junko and Armin Mester. 1995. Japanese phonology. In John A. Goldsmith (ed.), *The handbook of phonological theory*, pp.817-838. Cambridge, MA: Blackwell.
Ito, Junko and Armin Mester. 1999. The phonological lexicon. In Natsuko Tsujimura (ed.), *The handbook of Japanese linguistics*, pp.62-100. Malden, MA and Oxford, UK: Blackwell.
Ito, Junko and Armin Mester. 2008. Lexical classes in phonology. In Shigeru Miyagawa and Mamoru Saito (eds.), *The Oxford handbook of Japanese linguistics*, pp. 84-106. Oxford, UK: Oxford University Press.
Jäger, Gerhard. 2007. Maximum Entropy Models and Stochastic Optimality Theory. In Annie Zaenen, Jane Simpson, Tracy Holloway King, Jane Grimshaw, Joan Maling, and Chris Manning (eds.), *Architectures, Rules, and Preferences — Variations on Themes by Joan W. Bresnan*, pp. 467-479. Stanford, CA: CSLI Publications.
Jiang-King, Ping. 1998. Sonority constraints on tonal patterns. In Kimary Shahin, Susan Blake, and Eun-Sook Him (eds.), *Proceedings of the Seventh West Coast Conference on Formal Linguistics*, pp. 323-346. Stanford, CA: CSLI Publications.
Jun, Jongho. 2004. Place assimilation. In Bruce Hayes, Robert Kirchner, and Donca Steriade (eds.), *Phonetically Based Phonology*, pp.58-86. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
Jusczyk, Peter W., Angela D. Friederici, Jeanine M.I. Wessels, Vigdis Y. Svenkerud, and Ann Marie Jusczyk. 1993.. Infants' sensitivity to the sound patterns of native language words. *Journal of Memory and Language* 32: 402-420.
Jusczyk, Peter W., Paul A. Luce, and Jan Charles-Luce. 1994. Infants' sensitivity to phonotatic patterns in the native language. *Journal of Memory and Language* 33: 630-645.
Kabak, Baris and William Idsardi. 2007. Perceptual distortions in the adaptation of English consonant clusters: Syllable structure or consonantal contact constraints? *Language and Speech* 50: 23-52.
Kager, Rene. 1999. *Optimality Theory*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
Kang, Yoonjung. 2003. Perceptual similarity in loanword adaptation: English postvocalic word-final stops in Korean. *Phonology* 20: 219-273.

Kang, Yoonjung. 2011. Loanword phonology. In Marc van Oostendorp, Colin Ewen, Elizabeth Hume, and Keren Rice (eds.), *The Blackwell Companion to Phonology*, vol. 5: 2258-2281. West Sussex, UK: Wiley-Blackwell.
Katsuda, Hironori. 2025. A probabilistic model of loanword accentuation in Japanese. *Phonology* 42: e9 1-26.
Kawahara, Shigeto. 2006. A faithfulness ranking projected from a perceptibility scale: The case of [+voice] in Japanese. *Language* 82: 536-574.
Kenstowicz, Michael and Charles Kisseberth. 1977. *Topics in Phonological Theory*. New York: Academic Press.
Kenstowicz, Michael and Charles Kisseberth. 1979. *Generative Phonology: Description and Theory*. San Diego: Academic Press.
Kenstowicz, Michael. 2007. Salience and similarity in loanword adaptation: A case study from Fijian. *Language Sciences* 29: 316-340.
Kim, Yun Jung. 2012. Do learners prefer transparent rule ordering? An artificial language learning study. *Papers from the 48th Meeting of Chicago Linguistic Society*, pp. 375-386. Chicago: Chicago Linguistic Society.
Kiparsky, Paul. 1973. Abstractness, opacity, and global rules. In Osamu Fujimura (ed.), *Three Dimensions of Linguistic Theory*, pp. 57-86. Tokyo: Tokyo Institute for Advanced Studies of Language.
Kiparsky, Paul. 1982. Lexical phonology and morphology. In In-Seok Yang (eds.), *Linguistics in the Morning Calm*, pp. 1-91. Seoul: Hanshin Publishing Co.
Kiparsky, Paul. 2000. Opacity and cyclicity. *The Linguistic Review* 17: 351-367.
Kirchner, Robert. 1996. Synchronic chain shifts in Optimality Theory. *Linguistic Inquiry* 27: 341-350.
Kirchner, Robert. 1998. *An Effort-Based Approach to Consonant Lenition*. Ph.D. dissertation, University of California, Los Angeles.
Kisseberth, Charles. 1970. On the functional unity of phonological rules. *Linguistic Inquiry* 1: 291-306.
Kurisu, Kazutaka. 2001. *The Phonology of Morpheme Realization*. Ph.D. dissertation, University of California, Santa Cruz.
Labov, William. 1972. *Sociolinguistic Patterns*. Philadelphia: University of Pennsylvania Press.
Labov, William. 1994. *Principles of Linguistic Change: Internal Factors*. Oxford, UK and Cambridge, US: Blackwell.
Lacharité, Darlene and Carole Paradis. 2005. Category preservation and proximity versus phonetic approximation in loanword adaptation. *Linguistic Inquiry* 36.2: 223-258.
Leben, William. 1973. *Suprasegmental Phonology*. Ph.D. dissertation, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.
Li, Bing (李兵). 1998. 优选论的产生、基本原理与应用 (The emergence, basic principles, and applications of Optimality Theory). *现代外语 (Modern Foreign Languages)* 1998.3: 71-91.
Li, Bing (李兵). 2005. 优选论中的音系晦暗性：问题与发展 (Phonological opacity in Optimality Theory: Problems and approaches. *外语教学与研究 (Foreign Language Teaching and Research)* 37.3: 170-178.
Li, Qian and Yiya Chen. 2016. An acoustic study of contextual tonal variation in Tianjin Mandarin. *Journal of Phonetics* 54: 123-150
Li, Zhiqiang. 2003. *The Phonetics and Phonology of Tone Mapping in a Constraint-Based Approach*. Ph.D. dissertation, MIT, Cambridge, MA.

Lin, Hui-shan. 2008. Variable directional applications in Tianjin tone sandhi. *Journal of East Asian Linguistics* 17: 181-226.
Lin, Jo-wan. 1994. Lexical government and tone group formation in Xiamen Chinese. *Phonology* 11: 237-275.
Lin, Tao and Jiong Shen (林焘、沈炯). 1995. 北京话儿化韵的语音分歧 (Phonetic variations in the rhotacization of Beijing Mandarin). *中国语文 (Studies of the Chinese language)* 1995.3: 170-179.
Lin, Yen-Hwei. 1993. Degenerate affixes and templatic constraints: Rime change in Chinese. *Language* 69.4: 649-682.
Lin, Yen-Hwei. 2002. Mid vowel assimilation across Mandarin dialects. *Journal of East Asian Linguistics* 11: 303-347.
Lin, Yen-Hwei. 2007. *The Sounds of Chinese*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
Lin, Yen-Hwei. 2008. Variable vowel adaptation in Standard Mandarin loanwords. *Journal of East Asian Linguistics* 17: 363-380.
Lin, Yen-Hwei (林燕慧). 2014. 音节与汉语音段音系 (The syllable and Chinese segmental phonology). *当代语言学 (Contemporary Linguistics)* 16.3: 328-345.
Liu, Yu-Zhen, and Jing Gao (刘玉珍、高静). 2003. 去去连读变调规则：社会语言学变项 (FF sandhi rule in Tianjin dialect: A sociolinguistic variable). *天津师范大学学报（社会科学版) (Journal of Tianjin Normal University (Social Sciences))* 2003(5): 65–69.
Lubowicz, Anna. 2003. *Contrast preservation in phonological mappings*. Ph.D. dissertation, University of Massachusetts, Amherst.
Ma, Qiuwu (马秋武). 2008. *优选论 (Optimality Theory)*. 上海 (Shanghai)：上海教育出版社 (Shanghai Education Press)。
Ma, Qiuwu and Hongmei Wang (马秋武、王红梅). 2008. 优选论的拓展与走向 (Optimality Theory: Extended applications and development trends). *当代语言学 (Contemporary Linguistics)* 10(3): 237-245.
Magri, Giorgio. 2013. The complexity of learning in Optimality Theory and its implications for the acquisition of phonotactics. *Linguistic Inquiry* 44: 434-468.
McCarthy, John. 1986. OCP effects: Gemination and antigemination. *Linguistic Inquiry* 17: 207-263.
McCarthy, John. 1999. Sympathy and phonological opacity. *Phonology* 16: 331-399.
McCarthy, John. 2003. Comparative Markedness. *Theoretical Linguistics* 29: 1-51.
McCarthy, John. 2007. *Hidden generalizations: phonological opacity in Optimality Theory*. Equinox, London.
McCarthy, John. 2008. *Doing Optimality Theory: Applying theory to data*. Malden, MA: Blackwell Publishing.
McCarthy, John, and Alan Prince. 1993. *Prosodic Morphology I: Constraint Interaction and Satisfaction*. Technical report no. 3, Rutgers University Center of Cognitive Science, New Brunswick, NJ.
Mielke, Jeffrey, Elizabeth Hume, and Michael Armstrong. 2003. Looking through opacity. *Theoretical Linguistics* 29: 123-139.
Moreton, Elliott, and Shigeaki Amano. 1999. Phonotactics in the perception of Japanese vowel length: Evidence for long-distance dependencies. *Proceedings of the 6th European Conference on Speech Communication and Technology*. Budapest.
Myers, James. 2002. An analogical approach to the Mandarin syllabary. *Journal of Chinese Phonology* 11 (Special Issue): 163-190.
Nazarov, Aleksei and Joe Pater. 2017. Learning opacity in Stratal Maximum Entropy Grammar. *Phonology* 34: 299-324.

Odden, David. 1986. On the role of Obligatory Contour Principle in phonological theory. *Language* 62: 353-383.
Ohala, John J. 1996. The relation between phonetics and phonology. In William Hardcastle and John Laver (eds.), The *Handbook of Phonetic Sciences*, pp. 674-694. Oxford: Blackwell.
Ota, Mitsuhiko. 2004. The learnability of the stratified phonology lexicon. *Journal of Japanese Linguistics* 20: 19-40.
Pan, Wuyun (潘悟云). 2006. 音變規則是區分自源性層次的主要標準 (Phonological changes are the main criteria for distinguishing endogenous from exogenous layers of language). In Dah-an Ho, H. Samuel Cheung, Wuyun Pan, and Fuxiang Wu (何大安、張洪年、潘悟雲、吳福祥) (eds.), 山高水長——丁邦新先生七秩壽慶論文集 (Linguistic Studies in Chinese and Neighboring Languages: A Festschrift in honor of Professor Pang-Hsin Ting on his 70th birthday), 933-944. 台北 (Taipei): 中央研究院語言學研究所 (Institute of Linguistics, Academia Sinica).
Paradis, Carole and Darlene Lacharité. 1997. Preservation and minimality in loanword adaptation. *Journal of Linguistics* 33: 379-430.
Paradis, Carole and Darlene Lacharité. 2001. Gutteral deletion in loanwords. *Phonology* 18: 255-300.
Paradis, Carole and Darlene Lacharité. 2008. Apparent phonetic approximation: English loanwords in Old Quebec French. *Journal of Linguistics* 44.1: 87-128.
Pater, Joe. 2008. Gradual learning and convergence. *Linguistic Inquiry* 39: 334-345.
Pater, Joe. 2009. Weighted constraints in generative linguistics. *Cognitive Science* 33: 999-1035.
Peperkamp, Sharon, Inga Vendelin, and Kimihiro Nakamura. 2008. On the perceptual origin of loanword adaptations: Experimental evidence from Japanese. *Phonology* 25: 129-164.
Prince, Alan and Paul Smolensky. 2004/1993. *Optimality Theory: Constraint Interactions in Generative Grammar*. Cambridge, MA: The MIT Press. Original manuscript 1993, Rutgers University and University of Colorado, Boulder.
Prince, Alan, and Bruce Tesar. 2004. Learning phonotactic distributions. In René Kager, Joe Pater, and Wim Zonneveld (eds.), *Fixing Priorities: Constraints in Phonological Acquisition*, pp. 245-291. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
Sanders, Nathan. 2001. Preserving synchronic parallelism: Diachrony and opacity in Polish. In *Papers from the 37th Meeting of the Chicago Linguistic Society*, pp. 501-515. Chicago: Chicago Linguistic Society.
Shannon, C. E. 1948. A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal* 27: 379-423, 623-656.
Shaw, Jason. 2006. Learning stratified lexicon. *Proceedings of the 36th meeting of the North East Linguistics Society*, Amherst, MA: GLSA.
Shi, Feng (石锋). 1988. 试论天津话的声调及其变化—现代语音学笔记 (A preliminary study of tones and tone sandhi in the Tianjin dialect — notes on modern phonetics). *中国语文 (Studies of the Chinese language)* 1998.5: 351-360.
Shi, Feng (石锋). 2003. 北京话儿化韵的声学表现 (Acoustic characteristics of rhotacization in the Beijing dialect). *南开语言学刊 (Nankai Journal of Linguistics)* 2003.2: 11-19.
Shi, Feng and Ping Wang (石锋、王萍). 2004. 天津话声调的新变化 (New changes in the tones of the Tianjin dialect)。In Feng Shi and Zhongwei Shen (石锋、沈钟伟) (eds.), 乐在其中: 王士元教授七十华诞庆祝文集 (Joy of research: A Festschrift in honor of Professor William S.-Y. Wang on his 70th birthday), 176-188. 天津 (Tianjin): 南开大学出版社 (Nankai University Press).

Shinohara, Shigeko. 2006. Perceptual effects in final cluster reduction patterns. *Lingua* 116: 1046-1078.
Silverman, Daniel. 1992. Multiple scansions in loanword phonology: Evidence from Cantonese. *Phonology* 9: 289-329.
Smolensky, Paul. 1986. Information processing in dynamical systems: foundations of Harmony Theory. In David E. Rumelhart and James L. McClelland (eds.), *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition*, pp. 194-281. Cambridge, MA: MIT Press/Bradford Books.
Smolensky, Paul, and Géraldine Legendre. 2006. *The Harmonic Mind: from Neural Computation to Optimality-Theoretic Grammar*. Cambridge, MA: MIT Press.
Sumner, Megan. 2003. *Testing the Abstractness of Phonological Representations in Modern Hebrew Weak Verbs*. Ph.D. dissertation, State University of New York at Stony Brook.
Stampe, David. 1973. *A Dissertation on Natural Phonology*. Ph.D. dissertation, University of Chicago.
Steriade, Donca. 2001. Directional asymmetries in place assimilation: A perceptual account. In Elizabeth Hume and Keith Johnson (eds.), *The Role of Speech Perception in Phonology*, pp. 219-250. New York: Academic Press.
Steriade, Donca. 2008. The phonology of perceptibility effects: the P-map and its consequences for constraint organization. In Kristin Hanson and Sharon Inkelas (eds.), *The Nature of the Word: Essays in Honor of Paul Kiparsky*, pp. 151-180. Cambridge, MA: MIT Press.
Tesar, Bruce and Paul Smolensky. 1998. Learnability in Optimality Theory. *Linguistic Inquiry* 29: 229-268.
Tessier, Anne-Michelle. 2009. Frequency of violation and constraint-based phonological learning. *Lingua* 119: 6-38.
Tessier, Anne-Michelle. 2019. U-shaped development in error-driven child phonology. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science* 10: e1505.
Trubetzkoy, Nikolai S. 1939/1969. *Grundzüge der Phonologie*. Travaux du Cercle Linguistique de Prague 7. [English translation: *Principles of phonology*. Berkeley and Los Angeles: University of California Press, 1969].
Wang, Futang (王福堂). 1999. *汉语方言语音的演变和层次 (The evolution and stratification of the phonetics of Chinese dialects)*. 北京 (Beijing): 语文出版社 (Language Press).
Wang, Jialing (王嘉龄). 1995. 优选论 (Optimality Theory). *国外语言学 (Foreign Linguistics)* 1995.3: 1-4.
Wang, Jialing (王嘉龄). 2002a. 优选论和天津话的连读变调及轻声 (On tone sandhi and neutral tones in the Tianjin dialect within the framework of Optimality Theory). *中国语文 (Studies of the Chinese language)* 2002.4: 363-371.
Wang, Jialing (王嘉龄). 2002b. 优选论与功能主义 (Optimality Theory and Functionalism). *外语教学与研究 (Foreign Language Teaching and Research)* 34.1: 30-34.
Wang, Lijia and Ningji He (王理嘉、贺宁基). 1985. 北京话儿化韵的听辨实验和声学分析。载于林焘、王理嘉主编，《北京语音实验录》。北京：北京大学出版社。
Wang, Ping (汪平). 1988. 常州方言的连读变调 (Tone sandhi in the Changzhou dialect). *方言 (Dialects)* 1988.3: 177-194.
Wang, Samuel (王旭). 1993. 台语变调的心理特性 (The psychological reality of tone sandhi in Taiwanese Southern Min). *清华学报 (Tsing Hua Journal of Chinese Studies)* 23: 175-192.
Wang, Samuel. 1998. An experimental study on the phonotactic constraints of Mandarin Chinese. In B. K. T'sou (ed.), *Studia Linguistica Serica*, pp. 259-268. Hong Kong: Language Information Sciences Research Center, City University of Hong Kong.

Wang, William S.-Y. 1967. Phonological features of tone. *International Journal of American Linguistics* 33: 93-105.
Wee, Lian-Hee. 2004. *Inter-Tier Correspondence Theory*. Ph.D. dissertation, Rutgers University, New Brunswick, NJ.
Wee, Lian-Hee. 2010. A percolative account of Tianjin tone sandhi. *Language and Linguistics* 11: 21-64.
Wilbur, Ronnie. 1973. *The Phonology of Reduplication*. Ph.D. dissertation, University of Illinois, Urbana-Champaign.
Wilson, Colin. 2006. Learning phonology with substantive bias: An experimental and computational study of velar palatalization. *Cognitive Science* 30: 945-982.
Xu, Zheng and Mark Aronoff. 2011. A Realization Optimality Theory approach to blocking and extended morphological exponence. *Journal of Linguistics* 47.3: 673-707.
Yan, Hanbo and Jie Zhang. 2016. Pattern substitution in Wuxi tone sandhi and its implication for phonological learning. *International Journal of Chinese Linguistics* 3: 1-45.
Yan, Xiaobin and Qiuwu Ma (闫小斌、马秋武). 2007. 中国优选论研究十年 (Ten years of Optimality Theory research in China). 外国语言文学 (Foreign Language and Literature) 2007.2: 83-86.
Yang, Jun (杨军). 2007. 概率性优选论 (Stochastic Optimality Theory: A critical reading). *当代语言学 (Contemporary Linguistics)* 9.2: 117-127.
Yi, Li, and San Duanmu. 2015. Phonemes, features, and syllables: Converting onset and rime inventories to consonants and vowels. *Language and Linguistics* 16.6: 819-842.
Yin, Yuxia and Youyong Qian (尹玉霞、钱有用). 2022. 优选论中的音系获得：回顾与展望 (Phonological acquisition in Optimality Theory: Review and prospect). *当代语言学 (Contemporary Linguistics)* 24.2: 175-191.
Yip, Moira. 1993. Cantonese loanword phonology and Optimality Theory. *Journal of East Asian Linguistics* 2: 261-291.
Yip, Moira. 1999. Feet, tonal reduction and speech rate at the word and phrase level in Chinese. In Rene Kager and Wim Zonneveld (eds.), *Phrasal Phonology*, pp. 171-194. Nijmegen: Nijmegen University Press.
Yip, Moira. 2006. The symbiosis between perception and grammar in loanword phonology. *Lingua* 116: 950-975.
Yu, Hui (于辉). 2011. 汉语借词音系学中的区别性特征与音系范畴—以英源借词中塞音的借入情况为例 (Distinctive features and phonological categories in Chinese loanword phonology — examples from the borrowing of English stops). 汉语学习 (Chinese Language Learning) 2011.1: 53-61.
Yue-Hashimoto, Anne O. 1987. Tone sandhi across Chinese dialects. In Chinese Language Society of Hong Kong (ed.), *Wang Li Memorial Volumes, English Volume*, pp. 445-474. Hong Kong: Joint Publishing Co.
Zhang, Jie. 1999. Duration in the tonal phonology of Pingyao Chinese. In Matthew K. Gordon (ed.), *UCLA Working Papers in Linguistics, Papers in Phonology* 3, pp. 147-206. Los Angeles, CA.
Zhang, Jie. 2000. Non-contrastive features and categorical patterning in Chinese diminutive suffixation — MAX[F] or IDENT[F]? *Phonology* 17.3: 427-478.
Zhang, Jie. 2002. *The Effects of Duration and Sonority on Contour Tone Distribution: A Typological Survey and Formal Analysis*. New York: Routledge, Taylor and Francis Books, Inc.
Zhang, Jie. 2007. A directional asymmetry in Chinese tone sandhi systems. *Journal of East Asian Linguistics* 16.4: 259-302.

Zhang, Jie. 2014. Tones, tonal phonology, and tone sandhi. In C.-T. James Huang, Y.-H. Audrey Li, and Andrew Simpson (eds.), *The Handbook of Chinese Linguistics*, pp. 443-464. Oxford, UK: Wiley-Blackwell.

Zhang, Jie (张杰) 2021. 从连读变调的能产性与听觉启动效应看变调词的底层表征 (Underlying representations of tone sandhi words — evidence from productivity and auditory priming). *当代语言学 (Contemporary Linguistics)* 23.3: 324-341.

Zhang, Jie. 2022. Tonal processes defined as tone sandhi. In Chu-Ren Huang, Yen-Hwei Lin, and I-Hsuan Chen (eds.), *The Cambridge Handbook of Chinese Linguistics*, pp. 291-312. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Zhang, Jie and Yuwen Lai. 2008. Phonological knowledge beyond the lexicon in Taiwanese double reduplication. In Yuchau E. Hsiao, Hui-Chuan Hsu, Lian-Hee Wee, and Dah-An Ho (eds.), *Interfaces in Chinese Phonology: Festschrift in Honor of Matthew Y. Chen on His 70th Birthday*, pp. 183-222. Academia Sinica, Taiwan.

Zhang, Jie, Yuwen Lai, and Craig Sailor. 2009. Opacity, phonetics, and frequency in Taiwanese tone sandhi. In *Current issues in unity and diversity of languages: Collection of papers selected from the 18th International Congress of Linguists*, pp. 3019-3038. Linguistic Society of Korea.

Zhang, Jie, Yuwen Lai, and Craig Sailor. 2011. Modeling Taiwanese speakers' knowledge of tone sandhi in reduplication. *Lingua* 121.2: 181-206.

Zhang, Jie and Jiang Liu. 2016. The productivity of variable disyllabic tone sandhi in Tianjin Chinese. *Journal of East Asian Linguistics* 25.1: 1-35.

Zhao, Yonggang (赵永刚). 2012. 论音系学的形式主义与功能主义 (On the formalism and functionalism in phonology). 河南社会科学 (Henan Social Sciences) 20.5: 84-86.

Zuraw, Kie. 2000. *Patterned Exceptions in Phonology*. Ph.D. dissertation, University of California, Los Angeles.

Zuraw, Kie. 2007. The role of phonetic knowledge in phonological patterning: Corpus and survey evidence from Tagalog. *Language* 83: 277-316.

Zuraw, Kie. 2010. A model of lexical variation and the grammar with application to Tagalog nasal substitution. *Natural Language and Linguistic Theory* 28: 417-472.

Zuraw, Kie and Bruce Hayes. 2017. Intersecting constraint families: An argument for harmonic grammar. *Language* 93: 497-548.

Zuraw, Kie, Kathleen Chase O'Flynn, and Kaeli Ward. 2019. Non-native contrasts in Tongan loans. *Phonology* 36: 127-170.

作者简介

张杰，男，博士，美国堪萨斯大学语言学系教授，文理学院副院长。主要研究兴趣为理论音系学、实验音系学、汉语及其它声调语言的语音与音系。代表作：《时长与响度对曲折声调分布的影响：类型学调查与形式分析》和《探求普通话连读变调的语音知识》。电子邮箱：zhang@ku.edu

ZHANG Jie, male, PhD, is a Professor in the Linguistics Department and an Associate Dean in the College of Liberal Arts and Sciences at the University of Kansas, USA. His major publications include *The effects of duration and sonority on contour tone distribution: A typological survey and formal analysis* and *Testing the role of phonetic knowledge in Mandarin tone sandhi*. E-mail: zhang@ku.edu