

用网络模型系联反切的方法

以《广韵》反切下字的系联为例

姬越

2020.02.28 (v2.2)

摘要

计算机科学中常用的网络模型能以结点和边的形式清晰地反映不同个体之间的关系，可以用来系联、分析反切材料，以辅助音韵学的研究。在配置数据时，应该把全部被切字列为结点，而不仅是反切用字；并把结点的 ID 属性设置为音韵地位而非汉字字形，以便解决多音字和一部分小韵失联的问题。我们用这种方法系联了《广韵》的反切下字，并在此基础上讨论了《切韵考》中的基本条例、分析条例的具体内容及其在网络图中的表现。网络模型；反切系联法；陈澧：《切韵考》

目录

1	引言	2
1.1	问题的提出	2
2	网络图数据的配置	4
2.1	结点数据的配置	4
2.2	边数据的配置	5
3	系联条例在网络图中的表现	7
3.1	基本条例	8
3.2	分析条例	10
3.3	反切系联法的局限	12
4	结语	15

1 引言

1.1 问题的提出

反切始于魏晋，一直沿用至近代，不仅资料丰富，而且无疑保存了大量古音信息。自陈澧《切韵考》(1984) 发明反切系联法研究《广韵》的声类和韵类以来，系联反切一直是音韵学研究最基本的方法之一。但是，传统的系联法往往存在以下两个不足：其一，由于字书韵书中的反切条目繁多，手工系联相当费时费力，难免容易出错；其二，往往只能用文字或表格描述系联结果，无法直观地展现分析的过程，因此不便于具体问题的论述和系联条例的教学。

对于第一个问题，可以通过计算机强大的运算能力得到解决¹。比如，丁勇 (2004) 用 Access 软件建立了《集韵》反切数据库，并用 Visual Basic 语言编写程序，系联了全部反切上字和反切下字，但并未系联全部小韵。至于第二个问题，龚煌城 (1981)、黄易青、王宁 & 曹述敬 (2015) 等学者都使用了箭头表示了各小韵间系联的过程。这种方法虽然足够直观，但如果反切条目较多则容易显得混乱，也不方便绘制和排版。

我们认为，以上两个问题都可以用离散数学中的网络模型得到简便有效的解决。下面先简要介绍网络模型的概念和前人的相关研究。

1.1.1 网络模型概述

简单来说，网络 (network) 是一组被线连接在一起的点的集合，如图 1 所示 (Newman 2010: 1)。在数学上，网络图 (graph) 记作 G ，其中的各个点称为结点 (nodes，也写作节点) 或顶点 (vertices)，记作 n 或 v ；而结点之间的连线则称为边 (edge)，记作 e 。由于网络图可以直观、清晰地反映出不同个体之间的关系，因此在物理学、生物学和社会学等很多学科中都有着广泛的应用。

¹有学者试图补充陈澧的系联条例来解决这一问题，因而提出了“同音字组法”和“谐声系统法”(尹戴忠 2015)，但我们认为没能真正解决这一问题。其一，用同音字系联没有用作小韵首字的反切下字，本就是系联的基本程序，只是没有单独作为一项条例。(实际上，《切韵考》在描述系联条例时所举的例子，很多都并非小韵首字。)其二，谐声材料在上古音的研究中尚有很多分歧，而《切韵》离谐声时代已经相差甚远，同一谐声系列的读音可能有很大差别，因此其适用范围无疑是很有局限的。



图 1: 网络图中的结点和边

类似地，语言学研究中的某些问题也可以抽象为结点及其之间的关系，已经有一些学者进行了相关的研究。比如，胡佳佳、王宁 (Hu & Wang 2012; Hu & Wang 2013) 在网络模型中计算了谐声系统中声符与谐声字之间，以及同源词族内各词之间语音关系的欧氏距离；并分析了汉字的构型系统中各个部件间的网络关系。游函和丘内藤 (List 2018: 3–8; Hill & List, forthcoming) 整理了高本汉 (Karlgren 1957) 所归纳的谐声系列，并据此讨论了 A/B 类型音节说等五家有关谐声字的上古音学说；游函 (List 2016) 还用网络模型系联了《诗经》的韵脚字，为上古汉语 *-r 韵尾的构拟提供了新的证据。此外，北京师范大学汉字研究与现代应用实验室制作的“汉字全息资源应用系统”也有[属性系联](#)的功能，可以实现汉字构件的系联，以及《说文》《尔雅》《方言》《释名》四本小学专书中训释词与被训释词之间的系联²。

胡佳佳 (2018) 和游函 (List 2016: 8–11) 也都尝试将这种方法应用于反切系联，但其方法和结果都不够理想。一方面，和丁勇 (2004) 一样，都只系联了反切用字，因而没能完整地体现系联的情况，也不便于运用分析条例、补充条例和其他方法，进一步加以分析。另一方面，对多音字只能对其逐一编号，再手工调整，相对较为繁琐，没能充分发挥计算机自动化的优势。

为此，本文准备以《广韵》反切下字的系联为例，提出一种更为合理的方法，同时考察系联条例在网络模型中的表现，以期能在方法论上加深对反切系联法的认识，并在实践上推进字书、音义书、音注等其他反切材料的系联与研究。

²虽然数据库也提供了声韵系联的功能，但目前只能显示某个字在《广韵》中被用作反切上字或下字的情况，还不足以用来分析声类或韵类。

2 网络图数据的配置

利用计算机绘制、分析网络图的程序很多，最主要的有两种：有图形界面的 [Gephi](#) 软件 (Bastian, Heymann & Jacomy 2009)，或者 Python 语言的 [NetworkX](#) 库 (Hagberg, Schult & Swart 2008)。本文中的网络图都是用 Gephi 绘制的。由于不同程序的具体操作方法都不尽相同，因此这里限于篇幅不能一一介绍。但是，由于网络图是由结点和边两部分组成的：

$$G = \{V, E\}$$

所以在绝大部分程序中，只要导入结点和边的数据文件³，就不难完成网络图的绘制；而数据文件的配置方式，也正是不同方法间根本的差异所在。因此，下面分别介绍我们配置结点和边数据的方法，源文件和结果请参见 Ji (2019)。

2.1 结点数据的配置

前文已经提到，现有的研究中都是以反切用字作为结点进行系联的。但我们知道，陈澧在《切韵考》中系联的是单位是小韵而不只是反切。这种方法的优势在于，不仅可以清楚地展现同用、互用、递用三条基本条例的情况，还便于发现一些“特殊”的情况，并在此基础上运用分析条例、补充条例，进一步考察不同声类或韵类当分还是当合。所以，我们把网络图中的结点 V 设置为《广韵》中的所有小韵。由于这些小韵就相当于一个个同音字组，因此，在系联其他反切材料时，也就是所有被切字和切下字的音节。

为了更好地展现系联的结果，我们给结点设置了以下几个属性（表中的每行代表数据文件中的一列，第一列中的大写字母表示各列的编号）：

	属性	示例	说明
A	ID	tuwng	小韵的音韵地位
B	Label	【東】德紅	小韵首字和反切
C	Initial	端	小韵的声母
D	Rhyme	上平 01 東	小韵的声调和韵目

³数据一般使用 CSV (comma-separated values) 或 TSV (tab-separated values) 格式的列表。在这种格式中，每条记录各占一行，分别用一个英文逗号，或制表符分隔各列的数据。其优点在于能用纯文本形式存储表格数据，因此兼容性较好，所占的空间也较小。可以直接使用 VS Code 等纯文本编辑器，也可以用 Office Excel 等表格处理软件编辑。

	属性	示例	说明
E	Deng_hu	開一	小韵的开合和等
F	Char_num	17	小韵下收字的数目

其中，只有 ID 一项是必不可少的，也是惟一不能重复的；其余信息都可以根据对材料的掌握程度和研究的具体需要酌情增减。需要注意的是，在这里我们没有直接把汉字作为 ID，而是使用了白一平、沙加尔 (Baxter & Sagart 2014: 12–20) 的中古音转写 (transcription)，以解决多音字和一部分小韵失联的问题。具体的理由将在下节讨论关联函数时详细说明。

2.2 边数据的配置

2.2.1 在网络中，结点与结点之间的关系称为关联函数，记作 $\psi_G(e)$ 。换言之，关联函数也就是指配置边的规则。

前人以反切下字为结点进行系联，是比较容易实现的：首先，找出某个韵内所有反切下字（我们记作集合 A ，下同），作为结点的集合；再查出这些反切下字在《广韵》中所用的反切下字 B ，就可以建立关联函数的映射：

$$\psi_G : A \rightarrow B$$

如果要以小韵作为结点进行系联，似乎直接把上式中反切下字的集合 A 扩展到所有小韵的集合 U ，再找出他们的反切下字 V 即可：

$$\psi'_G : U \rightarrow V$$

但通过关联函数 ψ'_G 系联出的结果——在图论中称为连接部件——往往和实际的韵类不符。

这是因为，《广韵》中所用的反切下字不一定是小韵代表字，即 $V \not\subseteq U$ 。比如，上平一东韵中有“穷，去宫切”，反切下字“宫”所在小韵的首字是“弓”。显然，本应该将“穷”和“弓”系联为同一韵类，这一操作的过程是：

1. 因为“穷”小韵用“宫”作切下字，因此两字韵类相同，即 $e_1 = (\text{穷}, \text{宫})$
2. 又因为“宫”在“弓”小韵，即 $e_2 = (\text{宫}, \text{弓})$
3. 因此“穷”与“弓”两个小韵同类，即 $e_3 = (\text{穷}, \text{弓})$

但上述关联函数 ψ'_G 只能实现第一步 e_1 ；如果不给计算机提供 e_2 的信息，自然也就得不出 e_3 的结果。理论上说，可以设计一个条件语句，当计

算机遇到非小韵首字的反切下字时，自动查出其所在小韵的代表字作为目标节点来连接 e_2 。但事实上，可以有更简便经济的做法。

2.2.2 我们知道，《广韵》中的一个小韵也就是一个同音字组。古人在造反切时具体选用哪个字，固然会受到常用与否或笔画繁简等因素的影响；但我们系联反切则只需要“以类相从”，不必受到汉字字形的影响。因此，只要用各个小韵的语音信息作为不同结点的 ID，就可以很好地解决这一问题。以白一平、沙加尔 (Baxter & Sagart 2014) 的中古音转写为例，上面的例子就可以转化为：

$$e'_1 = (kjuwng, gjuwng)$$

由于同一小韵的“弓”和“穷”两字都是用 *gjuwng* 这一拼音形式转写的，使得上式中的 e_1 和 e_3 在形式上已经相同，因此可以直接得出最后的结果，自然也就不存在 e_2 断链的问题。同时，由于每个音节的 ID 都是唯一的，因此也不会因多音字而产生错误。

这里需要说明的是，只要给每个小韵（即音节）设置唯一的区别符即可，具体的形式并不重要。因此，也可以根据实际需要或使用习惯，设置为序号或传统的音韵地位。这里使用中古音转写的优势在于，由于这套系统只使用了基本的拉丁字母，因此在兼顾了易读程度的同时，有利于减少文件大小，提高程序的运行效率。

在系联其他反切材料时，既可以直接使用相应的音韵地位，也可以利用 SinoPy 等工具将其转化为《广韵》音系的音韵地位 (List 2019)，以便于进行音类分合的比较，只要保证每个音节只都对应一个 ID 值即可。

2.2.3 此外，我们认为还有必要先讨论边是否有方向。图 1 中的边没有方向，因而称为无向边；连接 u 和 v 两个结点的无向边用无序数对 $e = \{u, v\}$ 表示。边也可以用箭头等方式标明方向，称为有向边，记作有序数对 $e = (u, v)$ ；其中 u 称为源结点， v 称为目标结点。

胡佳佳 (2018) 和游函 (List 2018) 虽然都只系联了反切用字，但在边的有向性上做出了截然相反的选择，也都没有展开论述⁴。我们认为，反切下字和被切字的韵类未必完全等价，所以即便只系联反切下字也应该加以区

⁴胡佳佳 (2018) 设置成无向图，因为：“从网络分析的角度，将被切字与反切上字（或下字）看作网络中的结点，被切字与反切上字（或下字）的等价关系看作结点间的无向边（因为等价关系是双向的）。”而游函 (List 2018: 10) 则直接设置为有向边，说：“反切上下字与被切字组成的注音系统，可以很容易地转化成由反切到被切字的有向图。”(The system underlying the *fānqiè* spelling, consisting of a *glossed character* and a *glossing character* can be easily translated into a system of *directed networks* in which we draw a link from the glossing character to the glossed character.)

分；如果系联全部小韵，就更有必要了。因此，本文在系联《广韵》反切下字时，把被切字作为源结点，把切下字作为目标结点⁵。

2.2.4 因此，我们给边数据设置了以下属性：

	属性	示例	说明
A	ID	1	计算机用来区分不同边的代号
B	Source	tuwng	源结点，即被切的小韵
C	Target	huwng	目标结点，即反切下字的小韵
D	Type	Directed	边的有向性
E	Weight	3	结点的度

所谓结点的度（degree）是指与一个结点 v 相交的边的数量，记作 $d_G(v)$ ；对有向图来说，还可以区分入度（indegree，即以 v 为目标节点，记作 d_G^- ）和出度（outdegree，即以 v 为源结点，记作 d_G^+ ）。这里我们是通过 Excel 的 COUNTIF 函数计算的。以第一行的“东，德红切”为例，通过如下函数，就可以计算出“东”被用作反切下字的次数，也就是源结点的入度 d_G^- ：

=COUNTIF(\$C2\$2:\$C\$3819, B2)

其中，C22:C3819 是全部反切下字所在的单元格，B2 是被切字“东”所在的单元格。显然，每个小韵都有一次被注音，也就是说，对每个结点都有 $d_G^+ = 1$ ，因此把上述结果加 1 后就可以得到源结点的度。我们在网络图中选择用边的粗细反映这项数据的差异，因此将其命名为 **Weight**。在配置边数据时，除了这一栏之外的其他四个属性都是必不可少的。

3 系联条例在网络图中的表现

陈澧在《切韵考》(1984: 3–4) 中，分别提出了反切系联的基本条例、分析条例和补充条例。本节将结合《切韵考》对前两个条例的叙述和例证，介绍其在网络模型中的体现和应用⁶。

⁵当然，这里的方向只是用来区分被切字和切下字，没有其他物理意义，因此两者理论上也可以颠倒，只要在同一网络图内保持一致即可。

⁶补充条例是用来解决“实同类而不能系联”的情况。对反切下字来说，陈澧用的是“四声相承”的办法。作为一种类推推理，这一条例的逻辑其实并不严密；由于《广韵》中一个韵系内各韵的韵类并不完全一致，因此在实践中也无法贯彻（耿振生 2004: 38–40）。至于反切上字“同音异切”的方法固然严谨，但因为在操作上很容易实现，只需相应增加边的数据即可，因此本文不再专门讨论。



图 2: 平声东韵三等的网络图

3.1 基本条例

陈澧提出的的基本条例，分为“同用”“互用”和“递用”三种：“切语下字与所切之字为叠韵，则切语下字同用者、互用者、递用者，韵必同类也。”下面先讨论同用的情况。

同用，《切韵考》举的例子是“东，德红切”与“公，古红切”两个小韵“同用红字也”。在网络模型中，这种关系表现为有着相同的目标结点，即：

$$e_1 = (v_1, v_0)$$

$$e_2 = (v_2, v_0)$$

...

$$e_n = (v_n, v_0)$$

也就是说，图中有相同目标结点的“东、丛、同、笼、蔓、公、通、翁、空、蒙、蓬、匆”共 12 个小韵，都是同用“红”作反切下字的（“红”字在洪小韵）：

互用，《切韵考》举的例子是“公，古红切”和“红，户公切”。在网络模型中，这种关系表现为带有双向边，即：

$$e_1 = (u, v)$$

$$e_2 = (v, u)$$

在 Gephi 软件中，可以通过查询边 -> 双向边来找出全部互用的例子；经我们统计，共有 569 组。



图 3: 上声董韻的网络图

递用，《切韵考》举的例子是“东，德红切”和“红，户公切”。在网络模型中，这种关系表现为首尾相接的几条边，即：

$$e_1 = (v_1, v_2)$$

$$e_2 = (v_2, v_3)$$

...

$$e_n = (v_n, v_{n+1})$$

互用和递用的图示已见于上图，在此不赘。但通过计算机，我们发现《广韵》中的反切下字还有一种特殊的关系，既可以看作是超过两个小韵的互用，也可以理解为形成了一个闭环的递用，在前人的论述中较少提及。以上声董韻为例：

其中，“董，多动切”“动，徒摠切”“总，作孔切”“孔，康董切”四个小韵互用（“摠”字在总小韵）。抽象为数学表达式，也就是：

$$e_1 = (v_1, v_2) // e_2 = (v_2, v_3) // \cdots // e_n = (v_n, v_1)$$

这种情况在《广韵》反切下字的系联中出现的次数不多，三个小韵一组的有 18 例（为了节省篇幅，这里只列反切，不附图片，下同）：

1. 萧韵：萧，苏彫切。貂，都聊切。聊，落萧切。（彫在貂小韵）
2. 肴韵：肴，胡茅切。茅，莫交切。交，古肴切。
3. 豪韵：毛，莫袍切。袍，薄裒切。裒，博毛切。

4. 歌韵：歌：古俄切。莪，五何切。何，胡歌切。（俄在莪小韵）
5. 麻韵：车，尺遮切。遮，正奢切。奢，式车切。
6. 清韵：盈，以成切。成，是征切。征，诸盈切。
7. 青韵：经，古灵切。灵，郎丁切。丁，当经切。
8. 语韵：吕，力举切。举，居许切。许，虚吕切。
9. 寢韵：荏，如甚切。甚，常枕切。枕，章荏切。
10. 送韵：送，苏弄切。弄，卢贡切。贡，古送切。
11. 宋韵：宋，苏统切。统，他综切。综，子宋切。
12. 线韵：线，私箭切。箭，子贱切。贱，才线切。
13. 漾韵：漾，余亮切。亮，力让切。让，人掾切。
14. 烛韵：玉，鱼欲切。欲，余蜀切。蜀，市玉切。
15. 术韵：聿，余律切。律，吕卹切。卹，辛聿切。
16. 月韵：谒，於歇切。歇，许竭切。 ，其谒切。（竭在 小韵）
17. 陌韵：剧，奇逆切。逆，宜戟切。戟，几剧切。
18. 合韵：合，侯閤切。閤，古查切。查，徒合切。

四个小韵一组的，除上述董韵之外只有 2 例：

1. 琰韵：奄，衣俭切。俭，巨险切。险，虚检切。检，居奄切。
2. 夬韵：夬，古迈切。迈，莫话切。话，下快切。快，苦夬切。

在 Gephi 软件中，这种关系可以通过设置如下查询条件得到⁷：

- K-核心
 - 参数
 - k: 2
- 不（边）
 - 双向边

3.2 分析条例

在上述基本条例的基础上，陈澧还提出了“分析条例”，以解决可以系联但实不同类的小韵。《切韵考》：

《广韵》同音之字不分作两切语，此必陆氏旧例也。其两切语，……上字声同类者，下字必不同类。

⁷ 拓扑 K-核心查询的方法承李建强老师见教，在此表示感谢。

这符合形式逻辑中的“不矛盾律”，但只适用于韵书。因为字书、音义书等其他反切材料不存在“同音之字不分作两切语”这一大前提，自然也就不能根据反切上字的同类判定下字的不同类，反切上字亦然。

陈澧在《切韵考》中举的例子是“公，古红切”和“弓，居戎切”。但其实“红”和“戎”在基本条例中本身就不能系联为一类，因此在这里只是作为佐证，而并没有改变系联的结果。下面，我们以胡佳佳(2018)讨论过的平声五支韵为例，进一步说明分析条例的应用。

在五支韵中，如果只用基本条例，可以系联出以下两个韵类（反切下字后的数字代表其出现的次数）：

1. 为 12、支 10、移 9、垂 6、离 2、知 1、吹 1、危 1、规 1、随 1、隋 1；
2. 宜 6、羈 5、奇 1。

但按照分析条例，就会发现在第 1 类中还存在以下 11 组小韵的声母都是相同的：

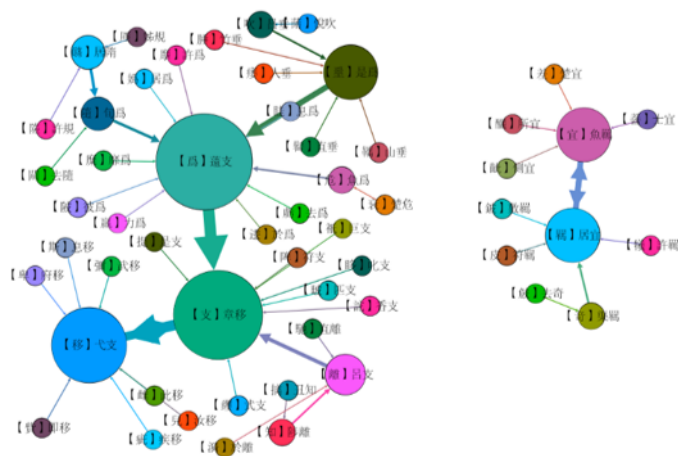
- (1) 移（弋支切）、藩（悦吹切），以母；
- (2) （许为切）、陸（许规切）、訖（香支切），晓母；
- (3) 透（於为切）、漪（於离切），影母；
- (4) 髻（直垂切）、驰（直离切），澄母；
- (5) 垂（是为切）、提（是支切），禅母；
- (6) 羸（力为切）、离（吕支切），来母；
- (7) 吹（昌垂切）、眇（叱支切），昌母；
- (8) 儿（如移切）、痿（人垂切），日母；
- (9) 贗（即移切）、剂（遵为切），精母；
- (10) 斯（息移切）、眭（息为切），心母；
- (11) 知（陟移切）、腫（竹垂切），知母。

因此，在第 1 类中还应该再分成三类，分别是：

1. 移 9、支 9、离 2、知 1；
2. 为 12、垂 6、吹 1、危 1、（支 1）；
3. 规 1、随 1、隋 1、（为 1）。

再加上第 2 类，可知支韵应该系联为 4 个韵类。

在网络图中，我们可以根据结点 **Initial** 属性的不同，给各个结点设置不同的颜色，以便于观察同一韵类中声母相同的对立，如图 4 所示。



此外, 还可以利用 Gephi 软件的查询功能, 方便地找到声母相同的小韵, 如所示。位于左侧的子图(subgraph)也就是上文所述的第 1 类。由于其中出现了三个高亮显示的晓母字, 可知这一类中至少还应该再分为三个小类。

$$e_{101} = (\text{随}, \text{为})$$

3.3 反切系联法的局限

基本条例在逻辑上固然严密，但也有一定的局限。这主要是由于反切材料的不严密造成的。古人在制作反切时，只是为了逐字注音，既没有严密的音系学知识，更没有想到后人用以考订音类。因此，造出的反切往往不符合“反切上字管声母，反切下字管韵母和声调”的一般规律（陆志韦 1963；潘悟

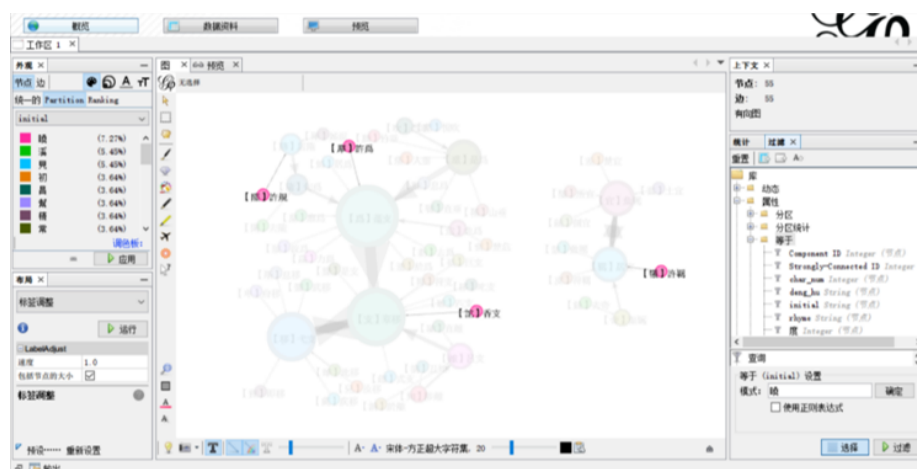


图 5: 利用 Gephi 的查询功能寻找声母对立

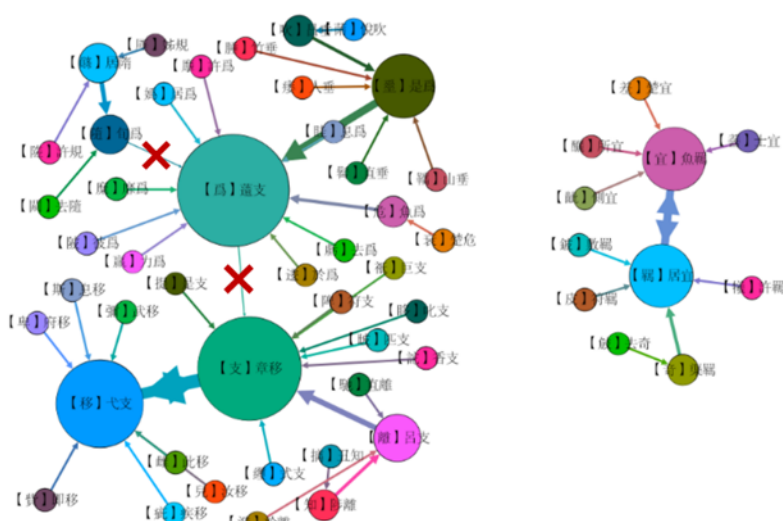
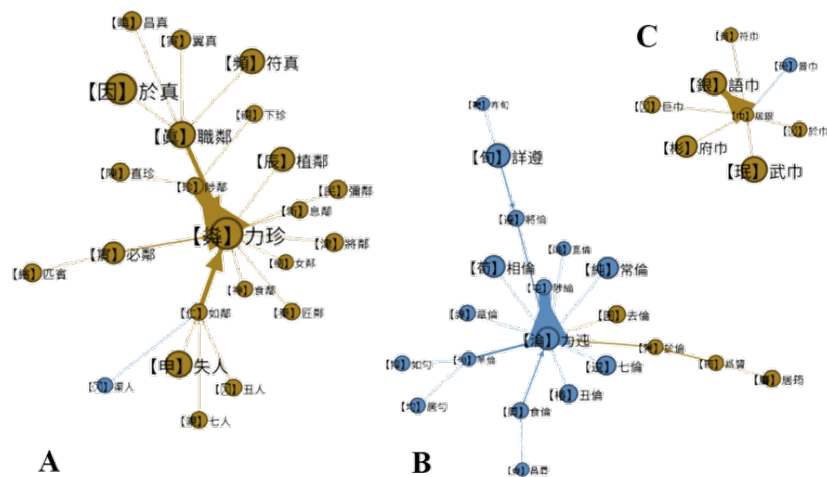


图 6: 平声支韵网络图的分析条例



云 2001)。换言之，上述条例归纳出的“同类”并不是绝对的，还要进一步具体讨论。

具体来说,在使用基本条例系联《广韵》时可能遇到的问题可以归纳为以下五种:沿袭旧有反切,唇音不分开合,附韵,借用,错讹(耿振生 2004: 40-41)。下面,我们以反切下字与被切字不同韵的现象为例,讨论网络模型处理这类反切的表现。

比如,《广韵》中真韵“麌,居筠切”“筠,为賛切”“困,去伦切”“賛,於伦切”四个小韵的反切下字属谆韵,而谆韵中“𠂔,渠人切”“𠂔,普巾切”两个小韵的反切下字则属真韵。在网络图中,我们可以通过结点的颜色来区分各小韵的韵目归属。比如,在下图中,黄褐色的小韵属于真韵,而蓝色的小韵属于谆韵⁸。

通过这种形式,我们可以清晰直观地看到:在子图 *A* 和 *C* 中,蓝色的结点是用真韵字作反切下字的谆韵字,因此和其他真韵小韵系联为一类;而子图 *B* 中黄褐色的结点是用谆韵字作反切下字的真韵字,因此和其他谆韵字系联为了一类。这种现象在后代的《洪武正韵》等韵书中同样存在(宁忌浮 2003: 52-53)。

类似地，我们可以根据之前给结点配置的不同数据，分别将结点的颜色的颜色设置为其他与通常规律不符的反切，也可以用颜色的不同加以区分，

⁸为了便于显示,三个连接部件之间的位置和距离有所调整。

以便进一步分析其具体情况。

4 结语

和传统的反切系联相比，网络模型最大的优势在于能按照陈澧《切韵考》提出的基本条例，快速、准确地完成大量反切材料的系联，并用直观、灵活的形式呈现出来，方便进一步的分析；同时，也有助于这一方法的教学。

本文以《广韵》为主，同时考虑了字书、音义书等其他反切材料的特点，提出：在网络模型中，应该用音韵地位而非汉字作为结点 ID，从而完整地系联所有被切字，同时也可以避免多音字带来的错误。利用这种方法，我们制作了《广韵》全部小韵反切下字系联的网络模型；在此基础上分析了陈澧《切韵考》提出的基本条例和补充条例在网络模型中的表现，以加深对系联条例的认识，并有助于其他反切材料的研究。

参考文献

- Bastian, Mathieu, Sebastien Heymann & Mathieu Jacomy. 2009. Gephi: An open source software for exploring and manipulating networks. In, *International AAAI Conference on Weblogs and Social Media*.
- Baxter, William H. & Laurent Sagart. 2014. *Old Chinese: A New Reconstruction*. Oxford & New York: Oxford University Press. doi:[10.1093/acprof:oso/9780199945375.001.0001](https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199945375.001.0001).
- Hagberg, Aric A., Daniel A. Schult & Pieter J. Swart. 2008. Exploring Network Structure, Dynamics, and Function Using NetworkX. In Gaël Varoquaux, Travis Vaught & Jarrod Millman (eds.), *Proceedings of the 7th python in science conference*, 11–15. Pasadena, CA USA.
- Hill, Nathan W. & Johann-Mattis List. Using Chinese Character Formation Graphs to Test Proposals in Chinese Historical Phonology. *Bulletin of Chinese Linguistics* 0(0), 1–16.
- Hu, Jiajia & Ning Wang. 2012. Graph model of Old Chinese phonological system and computing. *Literary and Linguistic Computing* 27(2), 171–181. doi:[10.1093/lc/fqs001](https://doi.org/10.1093/lc/fqs001).
- Hu, Jiajia & Ning Wang. 2013. Complex network perspective on

graphic form system of Hanzi. *Literary and Linguistic Computing* 28(4), 660–667. doi:[10.1093/lc/fqt057](https://doi.org/10.1093/lc/fqt057).

Ji, Yue. 2019. Using Network to Analyse Guǎngyùn Rhyme Categories. Zenodo. doi:[10.5281/zenodo.3569331](https://doi.org/10.5281/zenodo.3569331).

Karlgren, Bernhard. 1957. *Grammata Serica Recensa*. Stockholm: Museum of Far Eastern Antiquities.

List, Johann-Mattis. 2016. Using Network Models to Analyze Old Chinese Rhyme Data (用網絡模型來分析古代漢語的韻母數據). *Bulletin of Chinese Linguistics* 9(2), 218–241. doi:[10.1163/2405478X-00902004](https://doi.org/10.1163/2405478X-00902004).

List, Johann-Mattis. 2018. More on Network Approaches in Historical Chinese Phonology (音韻學). In, *The 2nd Li Fang-Kuei Society Young Scholars Symposium*, 157–174. Taipei.

List, Johann-Mattis. 2019. SinoPy: Python Library for quantitative tasks in Chinese historical linguistics. Jena: Max Planck Institute for the Science of Human History. doi:[10.5281/zenodo.1403028](https://doi.org/10.5281/zenodo.1403028).

Newman, Mark. 2010. *Networks: An Introduction*. New York: Oxford University Press. doi:[10.1093/acprof:oso/9780199206650.001.0001](https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199206650.001.0001).

丁勇. 2004. 《集韻》的计算机处理和音切研究. 华中科技大学硕士. doi:[10.7666/d.y692467](https://doi.org/10.7666/d.y692467).

宁忌浮. 2003. 洪武正韵研究. 上海: 上海辞书出版社.

尹戴忠. 2015. 两种系联《广韵》反切下字的新方法——对陈澧系联法之补充. 中南大学学报(社会科学版) 21(04), 244–248.

潘悟云. 2001. 反切行为与反切原则. 中国语文 (2), 99–111.

耿振生. 2004. 20 世纪汉语音韵学方法论. 北京大学出版社.

胡佳佳. 2018. 网络分析方法在音韵学教学中的应用——以《广韵》反切系联为例. 励耘语言学刊 (02), 155–165.

陆志韦. 1963. 古反切是怎样构造的. 中国语文 (5), 349–385.

陈澧. 1984. 切韵考. 北京: 中国书店.

黄易青, 王宁 & 曹述敬. 2015. 传统古音学研究通论. 北京: 商务印书馆.

龚煌城. 1981. 西夏韵书《同音》第九类声母的拟测. 中央研究院历史语言研究所集刊 52(1), 17–36.