

# 基于不同变量分层的因果中介效应分析

胡纯严<sup>1</sup>, 胡良平<sup>1,2\*</sup>

(1. 军事科学院研究生院, 北京 100850;

2. 世界中医药学会联合会临床科研统计学专业委员会, 北京 100029

\*通信作者: 胡良平, E-mail: lphu927@163.com)

**【摘要】** 本文目的是介绍因果中介效应分析中 3 类变量水平的设定方法以及采用 SAS 实现分层条件下的计算方法。3 类变量水平的设定是指处理变量、中介变量和协变量水平的设定, 还可以为两个变量设定特定的水平组合。本文通过一个实例, 借助 proc causalmed 过程中的 evaluate 语句实现基于不同变量分层的因果中介效应分析, 并对输出结果进行解释。

**【关键词】** 因果中介效应; 分层分析; 变量水平; 评估; 协变量

中图分类号: R195.1

文献标识码: A

doi: 10.11886/scjsws20220911003

## Causal mediation effect analysis based on different variable stratification

Hu Chunyan<sup>1</sup>, Hu Liangping<sup>1,2\*</sup>

(1. Graduate School, Academy of Military Sciences PLA China, Beijing 100850, China;

2. Specialty Committee of Clinical Scientific Research Statistics of World Federation of Chinese Medicine Societies, Beijing 100029, China

\*Corresponding author: Hu Liangping, E-mail: lphu927@163.com)

**【Abstract】** The purpose of this paper was to introduce the setting method of the three types of variable levels in the causal mediation effect analysis and the implementing calculation method under the condition of stratification by using SAS. The setting of the three types of variable levels referred to the setting of the levels of treatment variable, the mediator variable and the covariate. Besides, a specific level combination could also be set for two variables. Through an example, with the help of the evaluate statement in proc causalmed procedure, this paper used an example to conduct the causal mediation effect based on different variable stratification, and gave the output results and explanations.

**【Keywords】** Causal mediation effect; Stratified analysis; Variable level; Evaluation; Covariate

通常, 研究者是将一个数据集视为一个整体来进行分析。然而, 研究者可能希望在某个或某些特定的群体中实施因果中介效应分析, 以便获得更精细的分析结果。这种思想和做法在统计学上称为分层分析。事实上, 分层分析通常包含以下两种做法。第一种做法是将整个数据集划分成若干个互不相交的子数据集, 然后, 在每个子数据集中实施各种统计分析; 第二种做法是将各层之间的差异(被称为随机效应)呈现出来, 但仍以整体形式输出计算结果。本文将介绍如何对不同变量进行分层以及基于前述提及的第一种做法采用 SAS 实现分层计算的方法。

## 1 因果中介效应分析中变量水平的设置

### 1.1 定义变量水平的作用

一般来说, proc causalmed 过程计算因果中介效应和分解, 这些效应和分解取决于特定水平的协变量。此外, 一些因果中介效应是在处理、控制和中介变量的特定水平上定义的。因此, 应了解如何设

置这些变量水平, 以评估因果中介效应。

设 T 代表对结果变量 Y 有因果效应的处理变量; 设 M 代表受 T 影响并对 Y 有因果效应的中介变量; 设 C 代表在处理变量与中介变量之间起混淆作用的一般协变量。各变量的水平在定义因果中介效应中的作用如下<sup>[1]</sup>。①处理变量 T 的水平  $t_1$  是研究者指定为所有计算的效应和分解的处理条件的水平,  $t_0$  是研究者指定为计算的所有效应和分解的参考或控制条件的水平, 对于二值处理变量, 通常将  $t_1$  定义为 1, 表示存在处理。例如, 如果 T 代表药物的剂量水平, 则  $t_1=10$  mg 是定义处理条件的剂量水平; 通常将  $t_0$  定义为 0, 以表示没有给予处理; 例如, 如果 T 代表药物的剂量水平, 则  $t_0=5$  mg 是定义对照条件的剂量水平。②中介变量 M 的水平  $m^*$  是研究者指定用于计算受控直接效应(controlled direct effect, CDE)的水平。对于二值中介变量, 通常将  $m^*$  定义为 0, 将中介变量的值保持在“缺席”水平以评估 CDE。③协变量 C 的水平  $c$  是计算因果中介效应公式中的条件协变量的值。

通常情况下,指定协变量水平  $c$ 、处理水平  $t_1$  (处理变量)或控制水平  $t_0$  (处理变量)会改变所有中介效应和分解的估计。指定中介变量的受控水平  $m^*$  不会改变对总效应 (total effect, TE)、自然直接效应 (natural direct effect, NDE)或自然间接效应 (natural indirect effect, NIE)的估计,但确实改变了对受控直接效应 (controlled direct effect, CDE)和参考交互作用 (reference interaction, IRF)的估计。

## 1.2 处理变量的处理和控制水平的默认设置

对于二值处理变量,proc causalmed 过程使用变量的第一水平作为默认处理水平,使用变量的第二水平(最后一个水平)作为默认控制水平。换言之,二值处理变量的第一水平扮演  $t_1$  的角色,第二水平扮演  $t_0$  的角色。

对于连续或有序处理变量,研究者往往设置  $t_1$  和  $t_0$  水平使其差值为 1。这种设置适用于线性模型,包括线性回归分析和线性结构方程建模<sup>[2-4]</sup>。相关回归系数(或效应)定义为处理变量  $T$  的单位变化对结果变量  $Y$  的效应。在线性模型中,处理变量  $T$  对  $Y$  的效应仅取决于  $t_1$  和  $t_0$  之间的差异,而不取决于  $t_1$  和  $t_0$  的数值。然而,对于非线性模型、二值响应和交互效应,因果中介效应和分解的计算通常取决于  $t_1$  和  $t_0$  本身的水平。使用不同的  $t_1$  和  $t_0$  集(即使它们的差异保持不变)会导致对因果中介效应的不同估计。在默认情况下,proc causalmed 过程围绕处理变量的分布中心设置处理和控制水平,见式(1)、式(2)。

$$t_1 = \bar{t} + 0.5 \quad (1)$$

$$t_0 = \bar{t} - 0.5 \quad (2)$$

在式(1)和式(2)中, $\bar{t}$  是处理变量的样本平均值。在计算标准误差时,该样本平均值被视为固定值。

研究者可以定义自己的处理和控制水平,以评估因果中介效应和分解。例如,研究者可以使用一个标准差作为变化量,见式(3)、式(4)。

$$t_1 = \bar{t} + 0.5 \times s_t \quad (3)$$

$$t_0 = \bar{t} - 0.5 \times s_t \quad (4)$$

在式(3)和式(4)中, $s_t$  是处理变量的样本标准差。在计算标准误差时,该样本标准差被视为固定值。

## 1.3 中介变量水平的默认设置

对于二值中介变量,proc causalmed 过程使用变量的第二水平作为中介变量的默认受控(基线)水

平  $m^*$ 。这与在 mediator 语句中指定 mediator 模型的方式一致。也就是说,在默认情况下,该过程对中介变量第一水平指示的事件的概率进行建模。

对于连续或有序中介变量,proc causalmed 过程在评估因果中介效应时使用中介变量  $M$  的样本均值作为默认受控中介水平  $m^*$ 。

## 1.4 协变量水平和它们的默认设置

当研究者在 cover 语句中指定了混淆协变量的效应时,proc causalmed 过程会有条件地在协变量的特定水平上计算中介效应。研究者可以使用一个或多个 evaluate 语句,要求系统在特定设置下计算指定的效应。

默认水平不是研究者可以考虑的唯一设置。研究者可以在调用 proc causalmed 过程步中通过指定以下 evaluate 语句来要求系统进行相应的分析,每个 evaluate 语句生成一组中介效应分析结果。

```
evaluate 'Conditional on Level 1 of C2' C1=mean
C2='1';
```

```
evaluate 'Conditional on Level 2 of C2' C1=mean
C2='2';
```

```
evaluate 'Conditional on Level 3 of C2' C1=mean
C2='3';
```

总之,研究者可以使用 evaluate 语句来检查因果中介效应,这些效应取决于研究者指定的协变量水平。proc causalmed 过程在输出结果中显示这些效应以及以默认设置为条件的整体效应。

## 2 因果中介效应分析的实例与 SAS 实现

### 2.1 实例与数据结构

#### 2.1.1 资料来源与背景信息

【例1】文献[1]中的例子:仿照 Marjoribanks 讨论的理论教育模式<sup>[5]</sup>,模拟了一组包含 6 个变量、300 个观测的数据集,旨在了解父母提供的鼓励性环境 (Encourage) 是否会影响儿童的认知发展 (Cog-Perform)。为节省篇幅,有关数据集中 6 个变量及其含义参见文献[1]。试基于数据集中的数据,评估受控直接效应和条件中介效应。

#### 2.1.2 创建用于因果中介效应分析的数据集

因篇幅所限,创建数据集 Cognitive 的 SAS 程序见文献[1]。下面直接调用已创建的 SAS 数据集 Cognitive。

## 2.2 用 SAS 实现因果中介效应分析

### 2.2.1 用 evaluate 语句计算受控直接效应

以下 SAS 程序中的三个 evaluate 语句为中介变量(Motivation)指定了不同的值。设所需要的 SAS 程序如下:

```
proc causalmed data=Cognitive;
model CogPerform=Encourage | Motivation;
mediator Motivation=Encourage;
covar FamSize SocStatus;
evaluate 'Default Mean Value of Mediator' Motivation=mean;
evaluate 'High-Motivation Group' Motivation=1(SD);
evaluate 'Low-Motivation Group' Motivation=-1(SD);
run;
```

【SAS 程序说明】在 evaluate 语句中,引号中的内容用于区分不同的 evaluate 语句及其所产生的输出。第一个 evaluate 语句指定中介变量(Motivation)

水平的平均值,这恰好是默认水平;第二个 evaluate 语句指定中介变量(Motivation)水平的上限值,即把中介水平设置为高于平均值的一个标准差;第三个 evaluate 语句指定中介变量(Motivation)水平的下限值,即把中介水平设置为低于平均值的一个标准差。

【SAS 输出结果及解释】三个 evaluate 语句产生的输出结果分别见表 1、表 2、表 3。由每个表的最后一列可知,总效应和各成分效应均有统计学意义。由表 2 和表 3 可知,两次评估的总体效应保持不变。因为受控直接效应是在中介水平( $m^*$ )的特定水平上定义的,所以这两个评估导致对 CDE 的不同估计也就不足为奇了。在高于中介变量(Motivation)平均值一个标准差时,CDE 为 4.340;在低于中介变量(Motivation)平均值一个标准差时,CDE 为 4.019。由于交互作用而产生的百分比也因两种动机水平而异,一个百分比是-1.928%,另一个是 2.767%,两者都很小,可忽略不计。

表 1 将中介变量的水平设置为平均值时的因果中介效应分析结果

Table 1 Analysis results of causal mediation effect when the level of mediation variable was set to the mean value

各种效应	估计	标准误差	Wald 95% 置信区间	Z	Pr> Z
总效应	6.842	0.143	6.562~7.122	47.840	<0.010
受控直接效应(CDE)	4.180	0.047	4.088~4.272	89.000	<0.010
自然直接效应(NDE)	4.151	0.047	4.059~4.243	88.210	<0.010
自然间接效应(NIE)	2.691	0.145	2.407~2.976	18.530	<0.010
中介变量所占百分比	39.333%	1.370	36.647~42.018	28.700	<0.010
交互作用百分比	0.420%	0.024	0.373~0.466	17.730	<0.010
剔除的百分比	38.913%	1.357	36.252~41.573	28.670	<0.010

表 2 将中介变量的水平设置为上限值时的因果中介效应分析结果

Table 2 Analysis results of causal mediation effect when the level of mediation variable was set to the upper limit

各种效应	估计	标准误差	Wald 95% 置信区间	Z	Pr> Z
总效应	6.842	0.143	6.562~7.122	47.840	<0.010
受控直接效应(CDE)	4.340	0.047	4.248~4.432	92.600	<0.010
自然直接效应(NDE)	4.151	0.047	4.059~4.243	88.210	<0.010
自然间接效应(NIE)	2.691	0.145	2.407~2.976	18.530	<0.010
中介变量所占百分比	39.333%	1.370	36.647~42.018	28.700	<0.010
交互作用百分比	-1.928%	0.083	-2.090~-1.766	-23.290	<0.010
剔除的百分比	36.565%	1.400	33.822~39.308	26.130	<0.010

表 3 将中介变量的水平设置为下限值时的因果中介效应分析结果

Table 3 Analysis results of causal mediation effect when the level of mediation variable was set to the lower limit

各种效应	估计	标准误差	Wald 95% 置信区间	Z	Pr> Z
总效应	6.842	0.143	6.562~7.122	47.840	<0.010
受控直接效应(CDE)	4.019	0.047	3.926~4.112	84.680	<0.010
自然直接效应(NDE)	4.151	0.047	4.059~4.243	88.210	<0.010
自然间接效应(NIE)	2.691	0.145	2.407~2.976	18.530	<0.010
中介变量所占百分比	39.333%	1.370	36.647~42.018	28.700	<0.010
交互作用百分比	2.767%	0.085	2.600~2.934	32.450	<0.010
剔除的百分比	41.260%	1.319	38.675~43.845	31.280	<0.010

### 2.2.2 用 evaluate 语句计算以协变量值 (FamSize) 为条件的中介效应

研究者还可以使用 evaluate 语句来评估特定目标总体的因果中介效应。以下 evaluate 语句估计了小家庭(FamSize=3)和大家庭(FamSize=7)的因果中介效应。设所需要的 SAS 程序如下:

```
proc causalmed data=Cognitive;
model CogPerform=Encourage | Motivation;
mediator Motivation=Encourage;
covar FamSize SocStatus;
```

```
evaluate 'Small Families' FamSize=3;
evaluate 'Large Families' FamSize=7;
run;
```

【SAS 输出结果及解释】两个 evaluate 语句产生的输出结果见表 4、表 5。由表 4 和表 5 可知,对于小家庭和大家庭,所有因果效应的模式都是相似的。小家庭似乎具有略高的总体效应。对于这两组人来说,由于激励和动机之间的相互作用而产生的总效应的百分比很小;大约 40% 的总效应是由动机的中介作用导致的。

表 4 将家庭规模水平设置为 3(小家庭)时的因果中介效应分析结果

Table 4 Analysis results of causal mediation effect when the family size level is set to 3 (small family)

各种效应	估计	标准误差	Wald 95% 置信区间	Z	Pr> Z
总效应	6.850	0.142	6.571~7.129	48.120	<0.010
受控直接效应(CDE)	4.180	0.047	4.088~4.272	89.000	<0.010
自然直接效应(NDE)	4.158	0.047	4.066~4.251	88.340	<0.010
自然间接效应(NIE)	2.691	0.145	2.407~2.976	18.530	<0.010
中介变量所占百分比	39.290%	1.373	36.600~41.982	28.610	<0.010
交互作用百分比	0.527%	0.023	0.483~0.572	23.150	<0.010
剔除的百分比	38.979%	1.349	36.334~41.623	28.890	<0.010

表 5 将家庭规模水平设置为 7(大家庭)时的因果中介效应分析结果

Table 5 Analysis results of causal mediation effect when the family size level is set to 7 (large family)

各种效应	估计	标准误差	Wald 95% 置信区间	Z	Pr> Z
总效应	6.813	0.146	6.527~7.098	46.770	<0.010
受控直接效应(CDE)	4.180	0.047	4.088~4.272	89.000	<0.010
自然直接效应(NDE)	4.122	0.047	4.029~4.214	87.370	<0.010
自然间接效应(NIE)	2.691	0.145	2.407~2.976	18.530	<0.010
中介变量所占百分比	39.503%	1.359	36.839~42.166	29.070	<0.010
交互作用百分比	-0.011%	0.071	-0.151~0.129	-0.150	0.879
剔除的百分比	38.649%	1.391	35.923~41.374	27.800	<0.010

### 2.2.3 用 evaluate 语句计算以协变量值 (SocStatus) 为条件的中介效应

下一组 evaluate 语句评估了社会地位(SocStatus)高或低的受试者的因果中介效应。设所需要的 SAS 程序如下:

```
proc causalmed data=Cognitive;
model CogPerform=Encourage | Motivation;
mediator Motivation=Encourage;
```

```
covar FamSize SocStatus;
evaluate 'High Social Status' SocStatus=1(SD);
evaluate 'Low Social Status' SocStatus=-1(SD);
run;
```

【SAS 输出结果及解释】两个 evaluate 语句的输出结果见表 6、表 7。由结果可知,两组的所有因果效应模式相似(表 6 和表 7 中的计算结果接近)。高社会地位的总效应略高(6.889>6.795)。

表 6 将社会地位水平设置为高时的因果中介效应分析结果

Table 6 Analysis results of causal mediation effect when the social status level is set to high

各种效应	估计	标准误差	Wald 95% 置信区间	Z	Pr> Z
总效应	6.889	0.138	6.619~7.160	50.000	<0.010
受控直接效应(CDE)	4.178	0.047	4.088~4.272	89.000	<0.010
自然直接效应(NDE)	4.198	0.047	4.105~4.291	88.470	<0.010
自然间接效应(NIE)	2.691	0.145	2.407~2.976	18.530	<0.010
中介变量所占百分比	39.063%	1.394	36.331~41.794	28.030	<0.010
交互作用百分比	1.103%	0.086	0.935~1.272	12.840	<0.010
剔除的百分比	39.332%	1.298	36.788~41.876	30.300	<0.010



表 7 将社会地位水平设置为低时的因果中介效应分析结果

Table 7 Analysis results of causal mediation effect when the social status level is set to low

各种效应	估计	标准误差	Wald 95% 置信区间	Z	Pr> Z
总效应	6.795	0.148	6.504~7.085	45.840	<0.010
受控直接效应(CDE)	4.180	0.047	4.088~4.272	89.000	<0.010
自然直接效应(NDE)	4.104	0.047	4.011~4.196	86.700	<0.010
自然间接效应(NIE)	2.691	0.145	2.407~2.976	18.530	<0.010
中介变量所占百分比	39.606%	1.347	36.967~42.246	29.410	<0.010
交互作用百分比	-0.273%	0.109	-0.488~-0.059	-2.500	0.013
剔除的百分比	38.488%	1.419	35.707~41.269	27.120	<0.010

2.2.4 用 evaluate 语句计算以协变量值 (FamSize 和 SocStatus) 为条件的中介效应

研究者还可以在协变量的水平组合条件下来评估特定的因果中介效应。在以下 evaluate 语句中,受试者由 FamSize 和 SocStatus 水平的组合来定义。设所需要的 SAS 程序如下:

```
proc causalmed data=Cognitive;
model CogPerform=Encourage | Motivation;
mediator Motivation=Encourage;
covar FamSize SocStatus;
evaluate 'Most Favorable Environment' FamSize
```

```
=-.5(SD) SocStatus=1(SD);
evaluate 'Least Favorable Environment' FamSize
=.5(SD) SocStatus=-1(SD);
run;
```

【SAS 程序说明】标记为“最有利环境”的效应分别由 FamSize 和 SocStatus 定义,前者的标准差低于平均家庭规模 0.5,后者的标准差高于平均社会地位水平 1。标记为“最不利环境”的效应分别由 FamSize 和 SocStatus 定义,前者的标准差高于平均家庭规模 0.5,后者的标准差低于平均社会地位水平 1。

【SAS 输出结果及解释】两个 evaluate 语句产生的输出结果见表 8、表 9。

表 8 最有利环境下的因果中介效应分析结果

Table 8 Analysis results of causal mediation effect under the most favorable environment

各种效应	估计	标准误差	Wald 95% 置信区间	Z	Pr> Z
总效应	6.897	0.137	6.628~7.166	50.290	<0.010
受控直接效应(CDE)	4.180	0.047	4.088~4.272	89.000	<0.010
自然直接效应(NDE)	4.206	0.048	4.113~4.299	88.450	<0.010
自然间接效应(NIE)	2.691	0.145	2.407~2.976	18.530	<0.010
中介变量所占百分比	39.020%	1.396	36.284~41.757	27.940	<0.010
交互作用百分比	1.210%	0.098	1.018~1.402	12.360	<0.010
剔除的百分比	39.398%	1.290	36.869~41.926	30.540	<0.010

表 9 最不利环境下的因果中介效应分析结果

Table 9 Analysis results of causal mediation effect under the least favorable environment

各种效应	估计	标准误差	Wald 95% 置信区间	Z	Pr> Z
总效应	6.787	0.149	6.496~7.079	45.580	<0.010
受控直接效应(CDE)	4.178	0.047	4.088~4.272	89.000	<0.010
自然直接效应(NDE)	4.096	0.047	4.003~4.189	86.390	<0.010
自然间接效应(NIE)	2.691	0.145	2.407~2.976	18.530	<0.010
中介变量所占百分比	39.650%	1.344	37.016~42.284	29.510	<0.010
交互作用百分比	-0.384%	0.122	-0.623~-0.144	-3.140	0.002
剔除的百分比	38.420%	1.428	35.622~41.218	26.910	<0.010

两组的所有因果中介效应模式相似。“最有利环境”的总效应略大于“最不利环境”的总效应(6.897>6.787)。

【结论】以上结果表明,在父母鼓励对认知发展的影响中,约有 40% 是由儿童的学习动机介导的,父母鼓励与儿童学习动机的交互作用较小。这些

结论也适用于不同规模和社会地位水平的家庭。

3 讨论与小结

3.1 讨论

使用 evaluate 语句,可以为中介变量、协变量或协变量之间的水平组合的水平设置特定的数值,本

质上就是分层分析<sup>[6-7]</sup>。相当于将全部资料视为一个整体,基于不同变量(结果变量和处理变量除外),将整体划分成若干个子集,然后在每个子集中进行因果中介效应分析,以便获得更加精细的分析结果。

### 3.2 小结

本文介绍了处理变量、中介变量和协变量的不同水平的设置方法,特别介绍了proc causalmed过程中关于前述提及的各类变量水平的默认设置;通过实例详细展示了如何使用evaluate语句为中介变量和协变量设置不同水平,以便实现分层条件下的因果中介效应分析。

### 参考文献

- [1] SAS Institute Inc. SAS/STAT®15.1 user's guide[M]. Cary, NC: SAS Institute Inc, 2018: 2301-2364.
  - [2] 胡良平. 多重线性回归分析的核心内容与关键技术概述[J]. 四川精神卫生, 2018, 31(1): 1-6.
  - [3] 谷恒明, 胡良平. 基于经典统计思想实现多重线性回归分析[J]. 四川精神卫生, 2018, 31(1): 7-11.
  - [4] Lattin JM, Carroll JD, Green PE. Analyzing multivariate data [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003: 352-385.
  - [5] Marjoribanks K. Environments for learning [M]. London: National Foundation for Educational Research Publications, 1974: 68-127.
  - [6] Wang J, Xie H, Fisher JF. Multilevel models: applications using SAS[M]. Beijing: Higher Education Press, 2009: 1-72.
  - [7] 田茂再. 高等分层分位回归建模理论[M]. 北京: 科学出版社, 2015: 3-159.
- Hu LP. Overview of the core concepts and key techniques in the multiple linear regression analysis [J]. Sichuan Mental Health, 2018, 31(1): 1-6.
- Gu HM, Hu LP. Realization of a multiple linear regression analysis based on the classical statistical thought [J]. Sichuan Mental Health, 2018, 31(1): 7-11.
- Lattin JM, Carroll JD, Green PE. Analyzing multivariate data [M]. Beijing: China Machine Press, 2003: 352-385.
- Marjoribanks K. Environments for learning [M]. London: National Foundation for Educational Research Publications, 1974: 68-127.
- Wang J, Xie H, Fisher JF. Multilevel models: applications using SAS[M]. Beijing: Higher Education Press, 2009: 1-72.
- 田茂再. 高等分层分位回归建模理论[M]. 北京: 科学出版社, 2015: 3-159.
- Tian MZ. Higher hierarchical quantile regression modeling theory [M]. Beijing: Science Press, 2015: 3-159.

(收稿日期:2022-09-11)

(本文编辑:陈霞)



## 科研方法专题策划人——胡良平教授简介

胡良平,男,1955年8月出生,教授,博士生导师,曾任军事医学科学院研究生部医学统计学教研室主任和生物医学统计学咨询中心主任、国际一般系统论研究会中国分会概率统计系统专业理事会常务理事、中国生物医学统计学会副会长、北京大学口腔医学院客座教授和《中华医学杂志》等10余种杂志编委;现任世界中医药学会联合会临床科研统计学专业委员会会长、国家食品药品监督管理局评审专家和3种医学杂志编委;主编统计学专著48部、参编统计学专著10部;发表第一作者和通信作者学术论文300余篇、发表合作论文130余篇;获军

队科技成果和省部级科技成果多项;参加并完成三项国家标准的撰写工作、参加三项国家科技重大专项课题研究工作。在从事统计学工作的30年中,为几千名研究生、医学科研人员、临床医生和杂志编辑讲授生物医学统计学,在全国各地作统计学学术报告100余场,举办数十期全国统计学培训班,培养20多名统计学专业硕士和博士研究生。近几年来,参加国家级新药和医疗器械项目评审数十项、参加100多项全军重大重点课题的统计学检查工作。归纳并提炼出有利于透过现象看本质的“八性”和“八思维”的统计学思想,独创了逆向统计学教学法和三型理论。擅长于科研课题的研究设计、复杂科研资料的统计分析和SAS与R软件实现、各种层次的统计学教学培训和咨询工作。