

江苏省死亡人口的间接估计及死亡率模型

黄润龙

一、问题的提出

人们往往利用死亡人口登记、人口普查数据直接计算死亡人口及死亡率。但是,在某些国家和地区由于政策法规不健全,以及统计口径不一致,常常发生死亡人口漏报、死亡人口年龄错报以及人口死亡时间误报。因此,在某些国家和地区特别是发展中国家,死亡率的报告经常是不准确的。为了能科学地、准确地评估人口死亡率,近十余年来人口学家提出了很多死亡率估计和调整的方法。

1975年布拉斯(W·Brass)教授提出平衡方程的估计方法^①;1980年普雷斯顿(Preston)和希尔(Hill)提出两次普查间一代人生存率的估计、调整方法^②;1981年贝内特(Bennett)和霍留奇克(Horiuchi)提出非稳定人口生存率调整、估计方法^③;1984年普雷斯顿(Breston)和寇尔(Coale)提出死亡率登记完全性的估计、调整方法^④。每一种方法都有它本身的假定及其对资料的需求;每一种方法也都有其优点、缺点及其对于非稳定人口、非封闭人口的特殊要求。那么哪一种方法比较适合于中国的实际情况呢?

其次,我们利用江苏省第四次人口普查10%提前抽样资料,作出1990年江苏省分性别的简略生命表(见表1)。分析发现,江苏省人口1990年出生时的期望寿命(男69.4岁、女74.1岁)已十分接近1970年日本国的水平(男69.3岁、女74.7岁)或80年代初西欧水平^⑤。这在发展中国家,尤其在经济收入不高的发展中国家实属少见。然而,更令人难以解释的是江苏省5岁以下女孩死亡率竟大

于同龄男孩(见表1)。这种情况以前仅仅在印度、尼泊尔、斯里兰卡等南亚国家发生。基于以上的考虑,本文将用4种间接估计方法,对江苏省近年来人口死亡情况进行估计,最后将进行方法评估,并讨论江苏省近年来人口死亡率模型。

二、江苏省死亡人口的间接估计

(一) Brass平衡方程估计法

在稳定发展的封闭人口中,如果没有年龄错报,Brass平衡方程可用下列公式来表示:

$$\frac{N(x)}{N(x+)} = r + \frac{D''(x+)}{N(x+)}$$

这里 $N(x)$ 和 $N(x+)$ 是指 x 岁和 x 岁及其以上年龄的人口数, $D''(x+)$ 是年龄为 x 岁及其以上的人口真实死亡数, r 是人口增长率。

Brass认为 $\frac{N(x)}{N(x+)}$ 和 $\frac{D''(x+)}{N(x+)}$ 分别是 x 岁及其以上年龄人口的出生率和死亡率^⑥。

假定 $C(x)$ 是 x 岁及其以上死亡人口报告的完全性因子,报告的死亡人数 $D(x)$ 仅是真实死亡人数 $D''(x)$ 的一部分,故有 $D(x+) = C(x) \cdot D''(x+)$ 。假若再设在某一年龄段(例5~84岁)死亡报告完全性因子不变,我们就可用常数 C 代替 $C(x)$,并让 $K = \frac{1}{C}$,因而得到下列关系式:

① 参见参考文献(1)。

② 参见参考文献(2)。

③ 参见参考文献(3)。

④ 参见参考文献(1)。

⑤ 参见参考文献(4)。

⑥ 参见参考文献(1)。

表1 1990年江苏省男、女性简略生命表*

女性								
年龄x	n	q(x, x+n)	p(x, x+n)	l(x)	d(x, x+n)	L(x, x+n)	T(x)	e(x)
0	1	22 852	977 148	100 000	2 285	98 172	7 410 712	74.1
1	4	9 632	990 368	97 715	941	388 600	7 312 540	74.8
5	5	2 986	997 014	96 774	289	483 146	6 923 940	71.5
10	5	2 457	997 543	96 485	237	481 831	6 440 795	66.8
15	5	2 891	997 109	96 248	278	480 542	5 958 964	61.9
20	5	5 182	994 818	95 969	497	478 604	5 478 422	57.1
25	5	5 356	994 644	95 472	511	476 082	4 999 818	52.4
30	5	5 669	994 331	94 961	538	473 458	4 523 736	47.6
35	5	5 858	995 142	94 422	553	470 729	4 050 278	42.9
40	5	8 424	991 576	93 869	791	467 370	3 579 548	38.1
45	5	15 844	984 157	93 079	1 475	461 706	3 112 179	33.4
50	5	24 365	975 636	91 604	2 232	452 440	2 650 473	28.9
55	5	34 939	965 061	89 372	3 123	439 054	2 198 033	24.6
60	5	54 120	945 880	86 249	4 668	419 578	1 758 980	20.4
65	5	91 954	908 047	81 582	7 502	389 154	1 339 402	16.4
70	5	150 913	849 087	74 080	11 180	342 450	950 248	12.8
75	5	257 745	742 255	62 900	16 212	273 971	607 798	9.7
80	5	411 450	588 550	46 688	19 210	185 416	333 827	7.2
85+	5	632 827	367 173	27 478	27 478	148 411	148 411	5.4
男性								
年龄x	n	q(x, x+n)	p(x, x+n)	l(x)	d(x, x+n)	L(x, x+n)	T(x)	e(x)
0	1	21 173	978 827	100 000	2 117	98 306	6 938 043	69.4
1	4	9 624	990 376	97 883	942	389 270	6 839 737	69.9
5	5	3 464	996 536	96 941	336	483 864	6 450 467	66.5
10	5	2 592	997 408	96 605	250	482 398	5 966 603	61.8
15	5	3 339	996 661	96 354	322	480 968	5 484 205	56.9
20	5	5 470	994 530	96 033	525	478 850	5 003 237	52.1
25	5	5 420	994 580	95 507	518	476 243	4 524 386	47.4
30	5	6 906	993 094	94 990	656	473 309	4 048 143	42.6
35	5	8 985	991 016	94 334	848	469 550	3 574 834	37.9
40	5	14 795	985 205	93 486	1 383	463 973	3 105 285	33.2
45	5	22 260	977 741	92 103	2 050	455 390	2 641 311	28.7
50	5	37 686	962 314	90 053	3 394	441 780	2 185 921	24.3
55	5	64 346	935 654	86 659	5 576	419 355	1 744 141	20.1
60	5	104 566	895 434	81 083	8 479	384 219	1 324 786	16.3
65	5	157 141	842 859	72 604	11 409	334 499	940 567	13.0
70	5	258 261	741 973	61 195	15 804	266 466	606 068	9.9
75	5	374 063	625 937	45 391	16 979	184 507	339 602	7.5
80	5	554 911	445 089	28 412	15 766	102 644	155 095	5.5
85+	5	752 147	247 853	12 646	12 646	52 450	52 450	4.1

*1990年各年龄别死亡人口数是按1989年情况进行调整后计算所得。

$$\frac{N(x)}{N(x+)} = r + K \cdot \frac{D(x+)}{N(x+)}$$

全因子C。

如果利用最小二乘法或组平均法，非常容易求出回归方程的截距 r （人口增长率）及回归方程的斜率 K ，从而求出死亡登记的完

下面就以1990年江苏省女性为例，给出具体的计算过程及结果（见表2、图1）。

计算结果表明，1990年江苏省人口死亡登记资料质量较1982年有了较大幅度的改

表2

Brass方法对女性死亡率的估计

年龄	$N(x, x+5)$	$D(x, x+5)$	$N(x)$	$N(x+)$	$D(x+)$	$N(x)/N(x+)$	$D(x+)/N(x+)$
0	294 171	2 046		3 347 394	20 401		
5	234 105	140	52 828	3 053 223	18 355	0.0173	0.0060
10	245 079	120	47 918	2 819 118	18 215	0.0170	0.0065
15	289 330	168	53 441	2 574 039	18 095	0.0208	0.0070
20	399 233	415	68 856	2 284 709	17 927	0.0301	0.0078
25	314 669	338	71 390	1 885 476	17 512	0.0379	0.0093
30	256 798	292	57 147	1 570 807	17 174	0.0364	0.0109
35	279 124	328	53 592	1 314 009	16 882	0.0408	0.0128
40	208 636	353	48 776	1 034 885	16 554	0.0471	0.0160
45	160 922	514	36 956	826 249	16 201	0.0447	0.0196
50	144 527	713	30 545	665 327	15 687	0.0459	0.0236
55	135 961	967	28 049	520 800	14 974	0.0539	0.0288
60	118 832	1 322	25 479	384 839	14 007	0.0662	0.0364
65	102 504	1 976	22 134	266 007	12 685	0.0832	0.0477
70	74 832	2 443	17 734	163 503	10 709	0.1085	0.0655
75	46 675	2 762	12 151	88 671	8 266	0.1370	0.0932
80	27 856	2 886	7 453	41 996	5 504	0.1775	0.1311
85	14 140	2 618	4 200	14 140	2 618	0.2970	0.1851
	3 347 394	20 401					

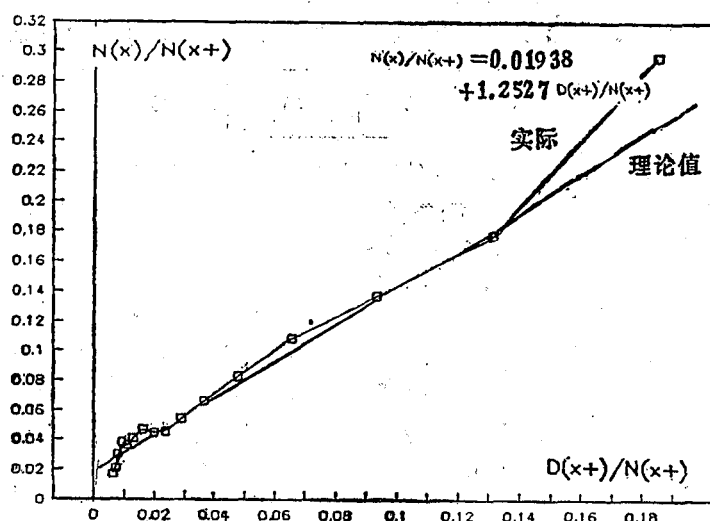


图1 x 岁及其以上年龄人口出生率和死亡率适配示意图

善，男性死亡人口登记的完全性因子由1982年的65.5%增长到1990年的80.6%，女性由1982年的67.3%增长到1990年的79.8%。换言之，1990年江苏省仍有20%左右的死亡人口漏登记或误登记，数据差距是很大的，然而我们又找不到令人信服的证据予以证实，因此很可能是江苏省人口发展的不稳定性影响了这种方法的使用。

(二) Preston-Coale 成人死亡率估计方法

对任何人口而言,某年龄组 t 时人口数等于 t 时以后这些人口逐年死亡数之和,例1990年60~65岁人口数等于1990年以后该组人口中逐年死亡人口总和。假如仅有80%的死亡人数被登记,那么整个死亡人口数与实际人口数之比为0.8,这也就是死亡登记的完全性表示。Preston-Coale方法就是建立在这—基础上的。再假定时间 t 之后的死亡人数能够从某一年份的登记报告中被估计出,那么我们就无需等很长时间,直到该人口组中所有人都死亡后再估计死亡登记的完全性^①。

在稳定人口中,死亡人口与生存人口之间存在着精确的数量关系。如果比较某一年龄组报告的死亡人数和估计的未来死亡人数,那就很容易得到死亡登记的完全性。

假定 $D(x)$ 是登记年龄为 x 的死亡人口数, r 是稳定人口的增长率,那么年龄为 x 的真实人口 $N(x)$ 估计数为

$$N''(x) = \sum_{a=x}^{\omega} D(a) \cdot \exp[r \cdot (a-x)]$$

如果人口发展是稳定的,增长率 r 是无误的,死亡率及总人口报告是准确的, $N''(x) = N(x)$;而当死亡率少登记20%时,

$$\frac{N''(x)}{N(x)} = 0.80$$

主要计算步骤如下:

1. 计算 x 岁以上人口增长率:

$$r(x+) = \frac{1}{8} \ln \left[\frac{N(x+)_{1990}}{N(x+)_{1982}} \right]$$

2. 估计死亡人口比率: $\frac{d(45+)}{d(10+)}$

3. 计算开口组成人死亡率的权重 $Z(85+)$,及该组的人口估计数 $N''(85+)$

4. 进而计算各年龄组人口数 $N''(x)$ 、 $N''(x, x+5)$ 以及死亡登记的完全性因子 C ^②。

以江苏省女性为例,这里计算了两次人口普查间的人口增长率(见表3)。如果人口

表3. x岁以上江苏省女性增长率随年龄 x 的变化

年龄 x	0	5	10	15	20	25	30	35
$r(x+)$	0.0147	0.0135	0.0153	0.0239	0.0329	0.0250	0.0292	0.0327
年龄 x	40	45	50	55	60	65	70	
$r(x+)$	0.0258	0.0223	0.0251	0.0294	0.0326	0.0373	0.0371	

资料是准确的,人口发展是稳定的,则各年龄别增长率应该相同。但是实际上,女性增长率随年龄变动很大,从 $r(5+) = 0.0135$,变至 $r(65+) = 0.0373$ 。由表3还可看到,20岁以下人口增长率完全不同于20岁以上人口增长率,这表明近十余年来的计划生育工作减缓了人口增长速度,影响了人口的稳定发展。因此,这里选用15~70岁人口增长率的中位数($r = 0.0293$)作为江苏省女性人口

增长的代表值。

使用该方法,1982年男性、女性死亡登记的完全性分别是0.8734、0.8912;1990年分别为0.9773、0.9972。由此可见,就人口普查中死亡人口登记质量而言,1990年要高于1982年,女性要高于男性。

值得指出的是,人口增长代表值 r 的选取

① 参见参考文献〔1〕。

② 详见参考文献〔1〕。

对结果——死亡登记的完全性影响极大（见表4）。然而，就理论而言，缺乏一个客观、严格、唯一的 r 值选取方法。因此Bennett和

Horiuchich于1981年提出用一组年龄别人口增长率取代一个 r ，而这种方法可适用于非稳定人口。

表4 死亡登记的完全性因子 c 与人口增长代表值 r^*

r	0.010	0.015	0.020	0.025	0.030	0.035	0.040
c	0.645	0.707	0.757	0.864	0.995	1.130	1.280

* 以1982~1990年江苏省女性为代表。

（三）Bennett和Horiuchich非稳定人口死亡率估计

基本原理同于Preston-Coale方法，但由于采用一组人口增长率 $r(a, a+5)$ 取代 r 值，故计算方法也有相应的调整。

计算的基本步骤如下：

1. 计算各年龄组人口增长率：

$$r(a, a+5) = \frac{1}{8} \ln \left[\frac{N(a, a+5)_{1990}}{N(a, a+5)_{1982}} \right]$$

2. 计算开口组——最高年龄组人口数

$$N''(a+) = D(a+) \cdot \{ \exp [r(a+) \cdot e(a)] - [r(a+) \cdot e(a)]^2 / 6 \}$$

3. 依次下推，计算各确定年龄组的人口数 $N''(a-5)$

$$N''(a-5) = N''(a) \cdot \exp [5 \cdot r(a-5, a)] + D(a-5, a) \cdot \exp [2.5 \cdot r(a-5, a)]$$

4. 估计5岁年龄组人口数

$$N''(a, a+5) = 2.5 \cdot [N''(a) + N''(a+5)]$$

及估计人口与实际人口（1990年）的比值 $N''(a-5, a+5)/N(a-5, a+5)$ 。应该注意的是，年龄为 a 的期望寿命 $e(a)$ 应该独立于现有资料，Bennett建议应采用合适的模型生命表。本文选用 $e(85+)=3$ 。

仍以江苏省女性为例，整个计算过程（见表5）中，年龄别人口增长率 $r(a, a+5)$ 变动较大，20岁以下的数值与20岁以上的数值截然不同。本文采用20岁以上 $N''(a-5, a+5)/N(a-5, a+5)$ 序列（见表5）的中位数作为

死亡登记的完全性因子。因此，江苏省女性死亡登记的完全性应是0.998；而男性为1.066。男性的指数高于1，表明男性人口数有可能遗漏登记，或是男性死亡人口的重复登记。

分析还表明，20岁以下较高的

$\frac{N''(a-5, a+5)}{N(a-5, a+5)}$ （见表5），很可能是由于人口迁移所造成的。

（四）Preston和Bennett关于期望寿命的估计

按照Preston和Bennett理论^①，在非稳定封闭人口中，时间为 t 、年龄为 x 的人口数等于时间为 $t-1$ 、年龄为 $x-1$ 岁的人口与 $(x-1) \sim x$ 岁生存概率的乘积：

$$N(x, t) = N(x-1, t-1) \cdot P(x-1, x)$$

同时 $t-1$ 年度 $x-1$ 岁的人口数也可以表达为：

$$N(x-1, t-1) = N(x-1, t) \cdot \exp [-r(x-1)]$$

其中 $r(x-1)$ 是度过 $x-1$ 岁生日人数上一年的增长率。代入前一式，即

$$N(x, t) = N(x-1, t) \cdot \exp [-r(x-1)] \cdot p(x-1, x)$$

类似有 $N(x, t) = N(0, t) \cdot \exp [-r(0) - r(1) \cdots - r(x-1)] \cdot P(0, x)$

利用这个公式，我们就可以对江苏省人口的期望寿命进行估计。具体的方法是：

① 参见参考文献〔5〕

表5

用Bennett-Horiuchi方法对江苏女性1990年死亡率的估计

年龄x	N(a,2+5)	N(a,a+5)		D(a,a+5)	N'(a)	N'(a,+5)	N'/N
	1982	1990	r(a,a+5)				
0	233 665	294 171	0.0288	2 046	73 031	335 923	
5	247 374	234 105	-0.0069	140	61 338	311 710	1.226
10	368 339	245 079	-0.0509	150	63 346	362 314	1.407
15	370 404	289 330	-0.0309	168	81 580	441 494	1.504
20	222 543	399 233	0.0731	415	95 018	401 539	1.224
25	289 912	314 669	0.0102	338	65 598	318 978	1.009
30	231 896	256 798	0.0128	292	61 993	299 687	1.083
35	169 383	279 124	0.0624	328	57 882	249 904	1.026
40	150 513	208 636	0.0408	353	42 080	190 182	0.902
45	147 112	160 922	0.0112	514	33 993	164 080	0.959
50	132 873	144 527	0.0105	713	31 639	152 411	1.036
55	114 755	135 961	0.0212	967	29 325	136 961	1.032
60	99 207	118 832	0.0226	1 322	25 459	117 382	0.998
65	53 983	102 504	0.0376	1 976	21 494	93 758	0.954
70	53 983	74 832	0.0408	2 443	16 010	67 144	0.097
75	39 383	46 675	0.0212	2 762	10 848	44 960	0.923
80	19 921	27 856	0.0419	2 886	7 136	25 810	0.950
85+	8 231	14 140	0.0676	2 618	3 188		

1. 求出1982~1990年间每一年龄组的平均年增长率:

$$r(x, x+5) = \frac{1}{8} \ln \left[\frac{N(x, x+5)_{1990}}{N(x, x+5)_{1982}} \right]$$

2. 计算1982~1990年间平均生存人年数

$$\begin{aligned} & N(x, x+5) \\ &= \frac{N(x, x+5)_{1990} - N(x, x+5)_{1982}}{8 \cdot r(x, x+5)} \end{aligned}$$

3. 求从5岁到间隔中点的年龄别增长率之和

$$S(x) = S(x-5) + 2.5 \cdot [r(x-5, x) + r(x, x+5)]$$

$$\text{而 } S(0) = -2.5 \cdot r(0, 5)$$

4. 求间隔之间的稳定人口平均生存人年数

$$L(x, x+5) = N(x, x+5) \cdot \exp[S(x)]$$

5. 求x岁以上累计生存人年数

$$\begin{aligned} T(x) &= T(x-5) + L(x, x+5), \quad T(80) \\ &= L(80, 85) \end{aligned}$$

6. 求x岁的尚存人数与平均预期寿命

$$l(x) = 0.1 \cdot [L(x-5, x) + L(x, x+5)]$$

$$e(x) = T(x) / l(x)$$

利用这些方法对江苏人口的期望寿命进行了估计。对比1990年生命表上的期望寿命, 可以发现, 无论男性、女性, 20岁以下估计的期望寿命要比生命表上相应的数据高10%以上。例如5岁男、女孩估计的期望寿命分别是73.3岁、79.9岁, 而生命表的值分别是66.5岁、71.5岁。分析原因, 其一, 江苏人口可能是非封闭的, 近8年来人口迁移数量较大; 其二, 死亡人口有重复登记现象或总人口有遗漏登记现象。

因此, 又用1990年各年龄组人口减去相应的近8年净迁移, 然后用Preston-Bennett方法进行了估计, 发现情况有了明显的改观。5岁男、女孩期望寿命分别降至64.7、69.6岁, 十分接近生命表上的期望寿命。图2给出1982、1990年江苏男、女性生命表上的期望寿命, 以及考虑与未考虑迁移情况下的

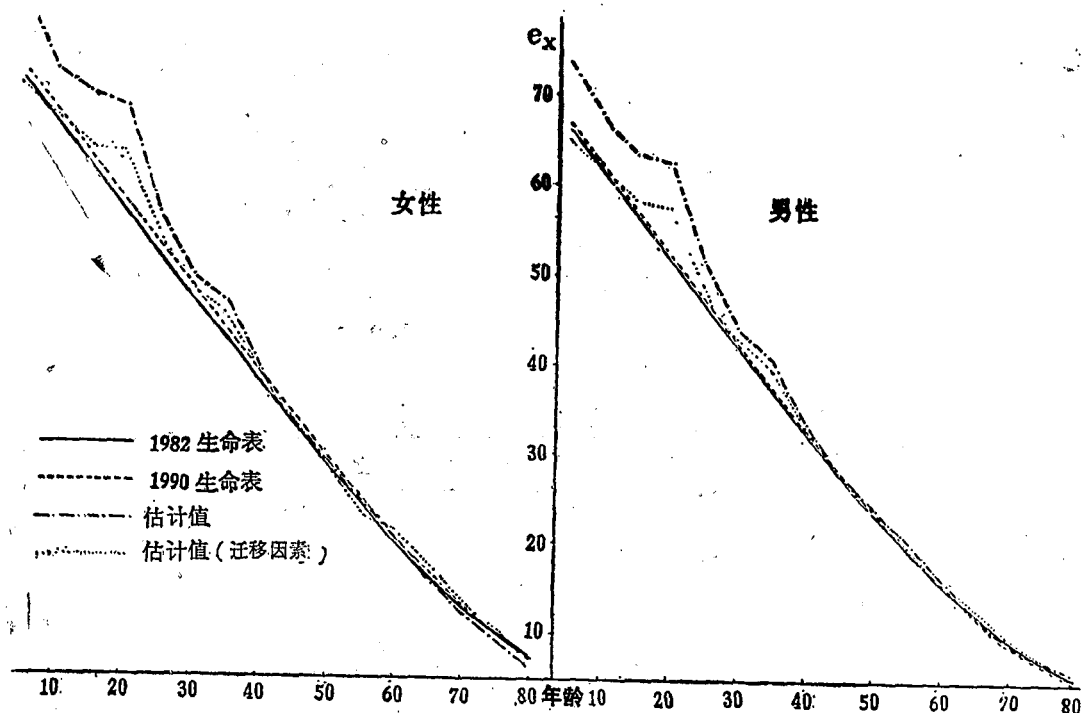


图2 江苏省男性、女性期望寿命随年龄的变动

Preston—Bennett估计方法期望寿命随年龄分布图。由图可见，虽然考虑迁移后的估计值比原来估计值有了明显的改善，但是与生命表的期望寿命相比仍存在不规则的波动现象。这一迹象表明，实际调查资料可能要比间接死亡率估计资料更为可靠。换言之，江苏省死亡率登记资料无需进行订正就可进行模型研究。

三、江苏省人口死亡率模型

人口模型试图用一个或一组数学函数来描述或表示人口过程，所以它是对人口统计学现象或过程的归纳。当可用资料不全或有限时，可利用人口模型检验并调整数据，填补可用登记资料不足的空缺。即使在人口普查和生命登记系统相当精确的地区，人口模型仍可提供以上两类调查资料以外的信息，以满足统计及社会的需要。

(一) 与区域性 (Coale—戴米尼 (Demeny) 经验) 模型的比较

Coale (1984年) 研究了中国1981年人口死亡情况^①，认为中国死亡率模型属于西部型水平—19。基于江苏人口死亡率低于全国平均水平这一事实，西部、北部、东部、南部模型的水平—21~23被用来比较江苏实际死亡情况。为了给出模型模拟合适程度的度量，这里用了RMSD指标。该指标定义为模型生命表与实际生命表某指标 (如 $p(x, x+n)$ ，或 $l(x, x+n)$) 差异平方的平均数。该数值越小，实际指数对模型指数模拟得越好。

计算发现，1982、1990年江苏男性死亡率十分接近于西部型—21、22层次水平，而1982、1990年女性死亡率十分接近北部型—22、23水平，尤其是在35周岁以下 (见图3 A、B)。

(二) 与Brass标准模型相比

^① 参见参考文献 (6)

W.Brass在1975年提出一套标准模型生命表,他在1986年研究了中国第三次普查资料后又提出一套适合于中国的模型生命表^①。这里试图用这两套模型生命表来模拟江苏人口死亡情况。

具体做法是,首先将生命表中的生存率 l_x 通过Logit变换为 y_x ,然后将 y_x 与模型标准值点绘在一张图上(见图4),用最小二乘法计算模型参数 α 、 β 及模拟合适程度 γ ,最后根据 α 、 β 的变化,讨论死亡率的变动特点(见表6)。

计算分析表明,近8年来不论男性还是女性, α 随时间减少而 β 随时间增大,这表明江苏省人口死亡率是逐年递减的,并且儿童死亡率的下降幅度要快于成年人。

其次,负的 α 值表明江苏人口死亡率已低于模型生命表的一般水平。分析还表明,1986年Brass提出的中国标准模型生命表更适合于模拟江苏省人口死亡的具体情况。

四、小结

通过上述分析讨论,可以得到如下结论:

1.江苏省第四次人口普查中死亡人口登记资料要较1982年为好,女性登记资料质量要高于男性。

2.就整体而言,江苏死亡人口登记水平

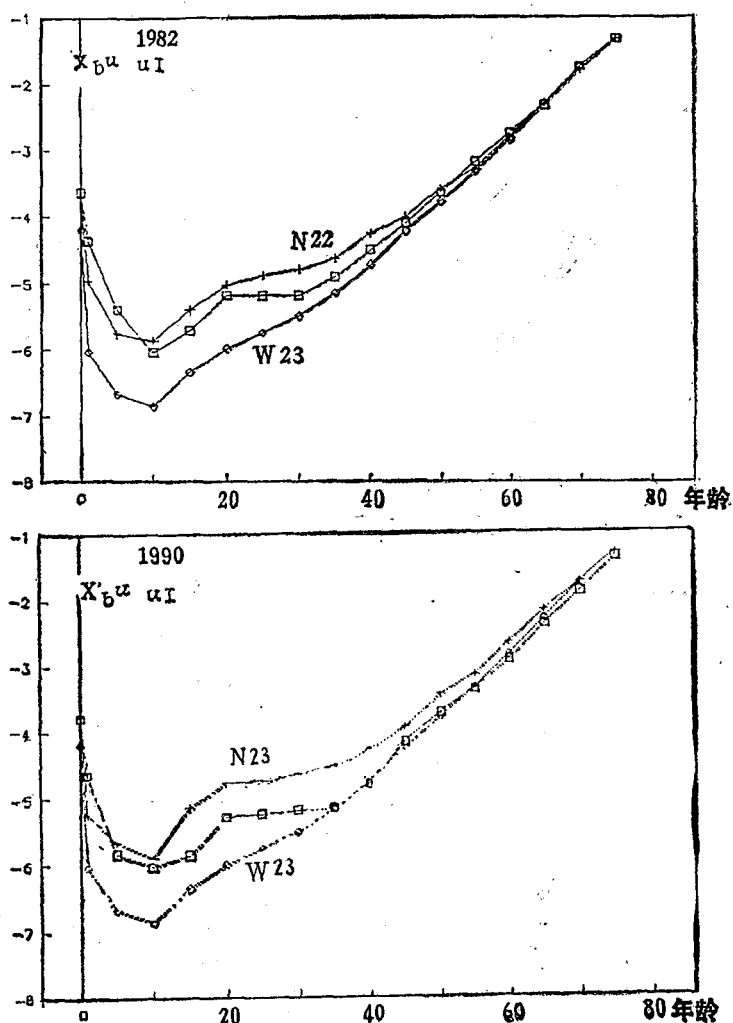


图3A 1982、1990年女性死亡率

是高的,没有必要进行调整及订正。

3.对非稳定和 非封闭人口而言,Preston—Bennett方法是估计成人存活率的最佳方法,Bennett—Horiuchich方法是估计总体成人死亡率的较好方法。

4.1982、1990年江苏男性死亡水平十分接近于西部模型水平—21、22;而女性死亡水平十分接近于北部模型—22、23,尤其是在35岁以下。

① 参见参考文献〔7〕

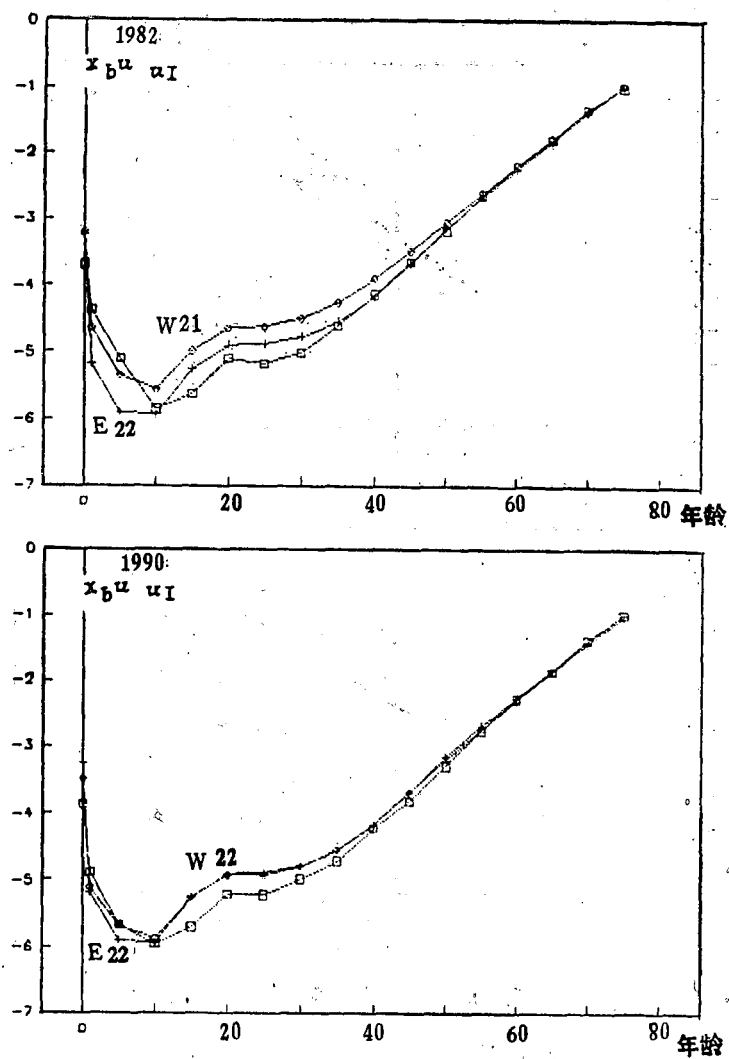


图3B 1982、1990年男性死亡率

表6

江苏省人口实际生命表与模型生命表的参数

分 项		第四次人口普查		第三次人口普查	
		女 性	男 性	女 性	男 性
世界标准	α	-1.1349	-1.0207	-1.0485	-0.939
模型生命表	β	0.9703	1.2229	0.9600	1.1822
中国标准	α	-1.098	-0.974	-1.012	-0.894
模型生命表	β	0.958	1.209	0.948	1.169

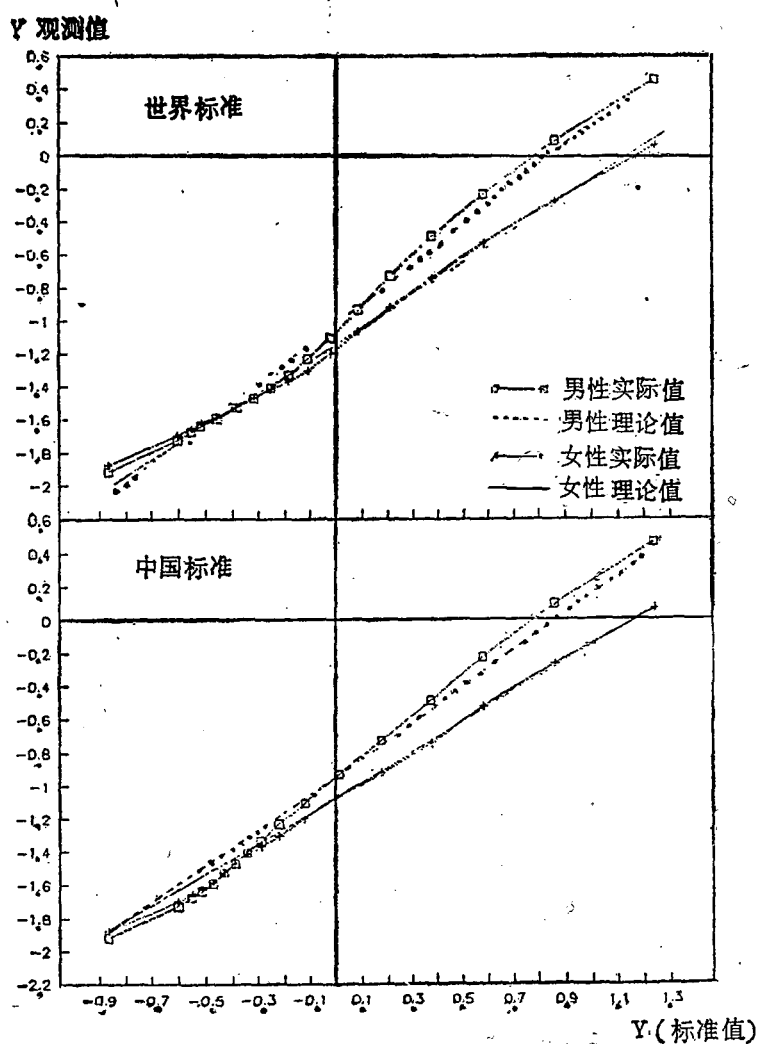


图4 1990年死亡率模型的拟合

(本文是作者在伦敦大学公共卫生学院人口研究中心所作硕士论文的一部分, 笔者十分感谢W·Brass教授及巴西亚(Basia)、埃博(Zaba)研究员对本文的指导!)

参考文献:

- (1) United Nations, 1984, Indirect Technique for Demographic Estimation (manual X) 129~146
- (2) S.Preston & K.hill, 1980, Estimating the Completeness of Death Registration, Population Studies, Vol 34(2).349~366.
- (3) G.Preston & S.Horiuchi, 1981, Estimating the Completeness of Death Registration in a Closed Population, Population Index 47 (2) 207~221.
- (4) Unite Nations, 1979, Demographic Yearbook, 552~554.
- (5) Preston & G.Bennett, 1983, Population Study, Vol 37, 91~107
- (6) Ansley J. Coale, 1984, Rapid population Change in China 1952~1982.
- (7) W. Brass & Li Bohua, 1986, Levels, Trends and Patterns of Adult Mortality in China over Twenty Five Years.

(本文责任编辑: 宋黎明)

(作者工作单位: 南京人口管理干部学院人口学系)