

东北区旱涝灾害特征分析及趋势预测

王富强, 许士国*

(大连理工大学 土木水利学院, 辽宁 大连 116024)

摘要: 利用东北区 1751~ 2000年旱涝灾害资料,分析了该区近 250年来旱涝灾害演变的特征. 根据气象因素和旱涝灾害的关系,引入了转移概率、太阳黑子相对数和厄尔尼诺方法,导出了未来旱涝灾害预报的方法和公式,对该区 2001~ 2010年旱涝灾害趋势作了预测. 结果显示,20世纪东北区旱涝灾害较以前都有所加重,尤其是干旱灾害. 2001~ 2010年东北区会出现 2次以上的干旱和 1~ 2次的洪涝灾害,且 2007年左右是发生洪涝灾害的危险期. 该项研究为东北区实际防灾、减灾工作提供了参考.

关键词: 东北区; 旱涝灾害; 转移概率; 太阳黑子; 厄尔尼诺; 长期预测

中图分类号: TV 124 **文献标识码:** A

0 引言

东北区位于我国大陆东北部,地处 $E 115^{\circ} 30' \sim 135^{\circ} 30'$, $N 38^{\circ} 43' \sim 53^{\circ} 30'$ 之间,南北长约 1 600 km,东西宽约 1 400 km,包括辽宁、吉林、黑龙江 3省的全部和内蒙古自治区东部的呼伦贝尔盟、兴安盟、哲里木盟(通辽市)和赤峰市,总面积有 $124.1 \times 10^4 \text{ km}^2$.

东北区旱涝灾害频繁,严重洪涝灾害发生的频次在全国处于前列,大范围的特大旱灾也时有发生. 据统计,其中 1950~ 1990年 40年间东北区旱涝灾害造成的粮食损失达 $1.498 \times 10^8 \text{ kg}$,平均每年 $37.4 \times 10^8 \text{ kg}$,占全国粮食损失的 19.9%;旱涝灾害的直接经济损失达 1 585亿元(当年价),其中 80年代为 1 060亿元(当年价),约占同期工农业总产值的 4.7%^[1]. 随着人口的增长和经济的发展,旱涝灾害造成的损失将愈来愈大,对环境的影响也将更加严重. 因此,研究旱涝灾害的长期演变规律,揭示东北区 200多年以来的旱涝气候变化特征,同时对其趋势做出预测,将对政府和防汛部门进行抗洪、抗旱、防灾决策起到重要作用. 目前不少学者对此进行了研究和探索. 如黄朝迎用统计方法研究了长江流域旱涝灾害的某些特征^[2];魏凤英等用主分量法建立了长江流域

旱涝趋势预测模型^[3];孙长安等通过对太阳周期不同时段旱涝频率的分析,揭示了长江中下游地区旱涝与太阳活动的密切联系^[4];李祚泳等应用分形理论,分析了四川旱涝灾害的时间序列的分维特征^[5].

本文选取东北区 1751~ 2000年的旱涝灾害史料,将其进行等级划分和特征分析. 为了体现未来洪水发生可能性和量级的概念,本文从气象学的角度,引入转移概率、太阳黑子相对数和厄尔尼诺方法,导出未来旱涝灾害预报的方法和公式,对东北地区 2001~ 2010年的旱涝灾害趋势进行预测,为东北区制定减灾、防灾和救灾的基本决策提供参考.

1 资料来源和处理方法

1.1 旱涝灾害等级划分标准和年份的确定

旱涝灾害等级是反映一个地区旱涝灾害程度的统一衡量指标,是分析旱涝灾害规律的重要依据. 目前,国家对旱涝灾害的分级和划分标准无统一的规定. 本文中东北区 1751~ 1990年旱涝灾害等级划分标准和年份的确定取自《东北区水旱灾害》^[1],考虑东北区的实际情况和资料条件,旱涝灾害的等级划分分为两个时期,即历史时

收稿日期: 2005-12-09; 修回日期: 2007-07-24.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(重点项目 50139020).

作者简介: 王富强(1979-),男,博士生, E-mail: fqwang@ student. dlut. edu. cn; 许士国*(1958-),男,教授,博士生导师.

期 (1746~ 1950 年) 和有确切观测资料的时期 (1951~ 2000 年)。

历史时期的旱涝灾害等级划分, 主要依据历史文献关于旱涝灾害的记载. 1900 年以后开始有少量的降水、气温和水位观测资料, 但站点很少. 另外还利用一些历史洪涝、干旱的调查资料. 历史时期的旱涝灾害划分按 5 个等级, 即严重洪涝、一般洪涝、正常年份、一般旱灾、严重旱灾^[1]. 等级划分的主要依据是文献中对旱涝灾害描述的常用词语.

1951 年以后, 有关旱涝灾害的资料, 在分布广度和记载内容上, 都比历史时期要好得多. 有条件采用多种量化的指标进行综合评定, 在分级上也有条件分得细一点. 因此采用 7 级标准, 即特大洪灾、严重洪灾、一般洪灾、正常年份、一般旱灾、严重旱灾、特大旱灾^[1]. 5 级标准与 7 级标准的关系是, 前者的一级包容了后者的一、二级; 前者的五级包容了后者的六、七级. 1990~ 2000 年旱涝年份的确定及其等级划分根据国家气候中心提供的降水资料按照东北区旱涝灾害等级划分标准计算所得.

表 1 1751~ 2000 年旱涝灾害数统计结果

Tab. 1 The number of drought and flood disasters for the period 1751 to 2000

年 份	洪灾数 (10 a)	干旱数 (10 a)	年 份	洪灾数 (10 a)	干旱数 (10 a)
1751~ 1760	5	5	1881~ 1890	8	6
1761~ 1770	4	4	1891~ 1900	8	4
1771~ 1780	1	1	1901~ 1910	8	6
1781~ 1790	5	3	1911~ 1920	12	4
1791~ 1800	3	3	1921~ 1930	10	5
1801~ 1810	7	2	1931~ 1940	10	2
1811~ 1820	8	1	1941~ 1950	6	4
1821~ 1830	7	2	1951~ 1960	12	4
1831~ 1840	5	6	1961~ 1970	5	4
1841~ 1850	8	0	1971~ 1980	1	12
1851~ 1860	6	3	1981~ 1990	6	10
1861~ 1870	10	2	1991~ 2000	6	9
1871~ 1880	5	5			

从表 1 可以看出, 1751~ 2000 年东北区洪涝灾害数为 166, 平均为 6.6, 干旱灾害数为 107, 平均为 4.3. 干旱灾害数和洪涝灾害数的比值为 1: 1.55. 其中 18 世纪后半期洪涝灾害数为 16, 19 世纪和 20 世纪分别为 72 和 78; 干旱灾害数 18 世纪后半期为 16, 19 世纪和 20 世纪分别为 31 和 60. 可见 20 世纪东北区旱涝灾害形势较以前都有所加重, 干旱灾害表现得尤为突出.

1.2 太阳黑子相对数和海温资料

太阳黑子相对数和海温资料均来自国家气候中心. 厄尔尼诺年年份的确定参照王绍武的研究成果^[6], 即凡 EN SO 事件指数连续 2 个季节, 东赤道太平洋海水温度 SST 距平大于等于 0.5°C 定为厄尔尼诺事件, 达到这个标准的第一季度作为事件开始期, 最后一个季度作为结束期.

2 旱涝数定义及其分析计算

根据以上旱涝灾害的等级划分标准, 可以确定 1751~ 2000 年东北区的旱涝灾害年份. 为了体现旱涝灾害的量级, 本文引入旱涝灾害数. 统计 1751 年起, 每 10 a 出现干旱 (洪涝) 的次数, 凡出现一次干旱 (洪涝) 的定义为 1, 出现 2 次定义为 2, 依此类推. 历史时期洪涝灾害等级为 1 级者一次作 2 次计算, 干旱灾害等级为 5 级者一次作 2 次计算; 1951~ 2000 年这段时期洪涝灾害等级为 1~2 级的一次作 2 次计算, 这段时期干旱灾害等级为 6~7 级的一次作 2 次计算. 这 10 a 中的累计值作为该 10 a 的干旱 (洪涝) 数^[7], 见表 1.

3 转移概率法预测

近年来马尔可夫链被广泛地应用于模拟自然灾害过程, 马尔可夫链既适用于时间序列分析, 也适用于空间序列分析, 既可由时间趋势分析演变为马尔可夫链, 也可将简单的马尔可夫链嵌入半马尔可夫链中, 模型的分析成果可以用图表表示, 便于减灾、防灾管理者理解和应用^[8]. 因此, 本文

对东北区干旱趋势的预测采用了马尔可夫链,即转移概率法,同时为了提高预报的精度,还采用了太阳黑子相对数法和厄尔尼诺年法预测,最后综合得到预测结果.

3.1 马尔可夫链

马尔可夫过程是一个数学模型,这种模型脱胎于物理学中的决定论原则:从时刻 t_0 系统所处的状态可以决定 t_0 以后某时刻 t 系统的状况,而无需借助于 t_0 以前系统的历史情况.当物理系统遵循的只是一种统计规律而非决定性规律时,模仿上述决定论原则,可以引入以下的马尔可夫性:在时刻 t_2 系统所处的状态的概率可以由其前面某时刻 t_1 的状态决定,而与 t_1 以前系统的状态无关.具有这种性质的随机过程,称为马尔可夫过程.马尔可夫过程的最简单情形被称为马尔可夫链.马尔可夫链可以看做是独立试验序列的自然推广^[9].

定义 1 考虑一个随机试验模型,其结果称为状态,所有可能的状态是 k_1, k_2, \dots, k_n (有限或可数无穷).如果第 k 次试验的结果为 k_k ,那么当已知前 s 次试验的结果为 $k_{k_1}, k_{k_2}, \dots, k_{k_s}$,则第 $s+1$ 次试验的结果为 k_j 的概率具有性质

$$\{k_j | k_{k_1}, \dots, k_{k_s}\} = P\{k_j | k_{k_s}\} \quad (1)$$

3.2 转移概率

若预报量由 s 个状态 $1, 2, \dots, s$ 所组成,历史资料便化为由这 s 个状态所组成的序列.如作旱、涝、平水年趋势预报时,可以用 1 2 3 代表预报量的上述三种状态.文中利用转移概率作东北区旱涝灾害趋势预测时将旱涝灾害数作为计算的初始状态.

根据马尔可夫链的无后效性质,当时刻 t 出现的状态为 j 时,下一时刻(即 t_{t+1})出现的状态是

$1, 2, \dots, s$ 中的一个,但各种状态出现的概率是不同的.若令 $P_{jk}^{(1)}$ 为在 t 时刻 j 的状态,到 t_{t+1} 时刻(下一时刻) k 状态的条件概率,则称这个概率为一阶转移概率.当样本中状态 j 可能发生转移的总次数为 M_j ,而由状态 j 到下一时刻转为状态 k 的次数为 N_k 时,则

$$P_{jk}^{(1)} = \frac{N_k}{M_j} \quad (2)$$

由于从任意一个状态出发,经过一次转移,必然出现状态 $1, 2, \dots, s$ 中的一个,所以

$$\sum_{k=1}^s P_{jk}^{(1)} = 1; j = 1, 2, \dots, s \quad (3)$$

一阶转移概率 $P_{jk}^{(1)}$ 可以排成一个 $s \times s$ 的一阶转移概率矩阵:

$$P^{(1)} = \begin{pmatrix} P_{11}^{(1)} & P_{12}^{(1)} & \dots & P_{1s}^{(1)} \\ P_{21}^{(1)} & P_{22}^{(1)} & \dots & P_{2s}^{(1)} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ P_{s1}^{(1)} & P_{s2}^{(1)} & \dots & P_{ss}^{(1)} \end{pmatrix} \quad (4)$$

同理,可以得到高阶的转移概率递推公式:

$$P^{(M+1)} = P^{(1)} \cdot P^{(M)} \quad (5)$$

3.3 转移概率法预测

在利用转移概率法作预报时,计算出预报量未来所处的状态 $1, 2, \dots, s$ 的概率,取其中最大值对应的状态作为预报结论.

一般旱涝预报中将旱涝作为预报量的状态,在本文中,根据前文旱涝灾害数的定义,将每 10 a 中旱(涝)出现的次数(频数)作为预报量,将出现的次数 $0 \sim 2 \ 3 \sim 4 \ 5 \sim 6 \ 7 \sim 8 \ 9 \sim 10 > 10$ 作为 6 种初始状态,求出样本中由前 10 a 各初始状态转为下一个 10 a 不同状态的频数和频率,然后采用一阶转移概率矩阵进行计算,计算结果见表 2 和表 3.

表 2 干旱灾害数一阶转移矩阵计算结果

Tab. 2 The output of first-order transition matrix on the number of drought disasters

转移前 次数	转移后次数					
	0~ 2	3~ 4	5~ 6	7~ 8	9~ 10	> 10
0~ 2	2/0.286	3/0.428	2/0.286	0	0	0
3~ 4	3/0.333	3/0.333	2/0.222	0	0	1/0.111
5~ 6	2/0.333	3/0.5	1/0.167	0	0	0
7~ 8	0	0	0	0	0	0
9~ 10	0	0	0	0	1/1.0	0
> 10	0	0	0	0	1/1.0	0

由表 1 可知,1991~ 2000 年东北区干旱数为 9,洪涝数为 6.结合表 2 3 旱涝灾害数一阶转移矩阵计算结果可以得到,2001~ 2010 年出现旱灾

数为 9~ 10 的概率为 100%,出现洪灾数为 0~ 2 3~ 4 5~ 6 7~ 8 9~ 10 > 10 的概率分别为 11.1%、22.2%、11.1%、22.2%、22.2%、

11. 1% ,其中出现洪涝数 ≥ 5 的概率达到 66. 6% . 依据转移概率法对旱涝灾害数的预测结果, 2001 ~ 2010 年东北区可能发生 2~ 3 次洪涝灾害和 3 ~ 4 次干旱灾害.

表 3 洪涝灾害数一阶转移矩阵计算结果

Tab. 3 The output of first-order transition matrix on the number of flood disasters

转移前 次数	转移后次数					
	0~ 2	3~ 4	5~ 6	7~ 8	9~ 10	> 10
0~ 2	0	0	2/1. 0	0	0	0
3~ 4	1/0. 5	0	0	1/0. 5	0	0
5~ 6	1/0. 111	2/0. 222	1/0. 111	2/0. 222	2/0. 222	1/0. 111
7~ 8	0	0	2/0. 286	4/0. 571	0	1/0. 143
9~ 10	0	0	2/0. 667	0	1/0. 333	0
> 10	0	0	1/0. 5	0	1/0. 5	0

4 太阳黑子相对数法预测

太阳活动是指太阳大气的局部区域中经常发生的太阳黑子、光斑、谱斑、日珥、耀斑和日冕凝聚区等现象和伴随的各种波段电磁辐射、粒子发射增强的总称。通常以太阳黑子的多寡作为太阳活动强弱的表征。太阳活动的多年变化与大气环流的多年变化有着内在联系和对应关系。大量的研究表明: 太阳活动的峰期和谷期是全球大洪水的高发期^[10]。

太阳黑子活动相位与东北区旱涝关系见表 4。1751~ 2000 年东北区洪涝灾害和干旱灾害数分别为 166 和 107, 从表 4 可以看出, 其中太阳黑子低值年和高值年洪涝灾害数分别为 49 和 44, 分别占总数的 29. 5% 和 26. 5%, 共占 56%; 太阳黑

子低值年和高值年干旱数分别为 17 和 35, 分别占总数的 15. 9% 和 32. 7%, 共占 48. 6%。可见, 太阳黑子活动的峰期和谷期是旱涝灾害的高发期, 其中东北区干旱灾害多发生在太阳黑子活动的峰期。

太阳黑子活动资料从 1698 年的负第 5 周期到现在的第 23 周期已经 300 多年, 每个周期可分为太阳活动相位的低值年、上升年、高值年和下降年四个阶段。太阳黑子活动从 1998 年进入第 23 周期的上升期, 到 2000 年到达该周期的峰值, 然后进入下降期。在 2005 年春天灾预测专业委员会上, 天文学家张元东认为太阳黑子 23 周的谷年 (m) 发生在 2007 年左右, 同时根据对 2001 ~ 2010 年东北区旱涝趋势的预测, 可以预测 2007 年左右是东北区洪涝灾害的危险年。

表 4 太阳活动相位与东北区旱涝关系

Tab. 4 The relationship between the phase of the Sun activities and the drought and flood disasters in Northeast China

太阳活动相位	对应的洪涝灾害年	对应的干旱灾害年	
低值年	$m - 1$	1754, 1765 [*] , 1822 [*] , 1866, 1877, 1888 [*] , 1912, 1922 [*] , 1932 [*] , 1943, 1953 [*] , 1985 [*]	1783, 1832 [*] , 1995
	m	1755, 1798, 1810 [*] , 1823, 1856 [*] , 1878, 1901, 1913, 1923 [*] , 1954, 1964, 1986 [*]	1766, 1867, 1889, 1944, 1976
	$m + 1$	1756, 1811, 1834, 1844, 1868, 1879, 1890, 1914 [*] , 1934 [*] , 1945, 1955, 1965	1785, 1799, 1902, 1977 [*] , 1987
	$M - 1$	1804, 1815, 1828, 1847, 1869, 1927, 1936, 1956 [*] , 1990 [*]	1760 [*] , 1787, 1836, 1882, 1893, 1906, 1946, 1980 [*] , 1999 [*]
高值年	M	1769, 1788, 1805, 1837, 1870 [*] , 1894, 1917 [*] , 1928, 1937, 1957 [*]	1761, 1829, 1860, 1883 [*] , 1907 [*] , 1968 [*] , 1981 [*] , 1991 [*] , 2000 [*]
	$M + 1$	1751, 1770, 1789, 1806, 1830, 1849, 1861, 1871, 1884, 1895, 1908 [*] , 1918 [*] , 1929 [*] , 1938, 1948, 1992	1817, 1838 [*] , 1958 [*] , 1968 [*] , 1982

注: 年份右上角有 * 记号的表示干旱 (洪涝) 数为 2 的年份

5 厄尔尼诺法预测

厄尔尼诺是指在圣诞节前后, 厄瓜多尔、秘鲁沿岸的海洋出现异常变暖的现象。据统计分析, 厄尔尼诺现象 2~ 7 a 出现一次。其中在 1860~

1987 年的 120 多年中赤道东太平洋海温明显偏高的年份有 36 年, 平均 3. 3 年出现一次, 有的跨年度。1951~ 1998 年的 48 a 中已经出现了 14 次, 平均 3. 43 年出现一次, 接近 120 多年的平均状况, 间隔为 2~ 6 a; 50 年代到 80 年代每 10 a 出现 2~

3次,而 90年代已出现 4次,1997年到 1998年的这次厄尔尼诺现象是 1951年来最强的一次,是近百年来少见的。

在 1951~ 2000年间,共出现 14次厄尔尼诺年,其中 4次为跨年度的,在这 14次厄尔尼诺事件当年,东北区发生洪涝灾害 9次,发生干旱灾害 4次,分别占 64.3% 和 28.6%。在 17次反厄尔尼诺事件的当年,东北区发生洪涝灾害 5次,发生干旱灾害 6次,其中 5次为特大干旱,反厄尔尼诺年发生洪涝和干旱的概率分别为 29.4% 和 35.3%。从 1951年起每 10 a出现厄尔尼诺年和反厄尔尼诺年的次数之和为 6~ 7次,同时据 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)对厄尔尼诺事件的研究及其预测,2001~ 2010年将发生厄尔尼诺年 2~ 4次,反厄尔尼诺年 3次。由此可以预测,2001~ 2010年东北区可能发生 1~ 2次洪涝灾害和 2~ 3次干旱灾害,其中可能发生一次严重干旱和一次严重洪涝。

6 结 论

(1) 20世纪旱涝灾害形势较以前都有所加重,干旱灾害表现得尤为明显。可见东北区旱涝灾害不仅频率增加,而且受灾范围和危害也不断扩大。东北区既要防洪又要抗旱,其中以抗旱为主。

(2) 由综合转移概率法、太阳黑子相对数法和厄尔尼诺法预测结果可知,2001~ 2010年东北区可能发生 2次以上的干旱和 1~ 2次的洪涝灾害,其中可能是一次严重干旱和一次严重洪涝,且 2007年左右是东北区发生洪涝灾害的危险期。

参考文献:

- [1] 水利部松辽水利委员会. 东北区水旱灾害 [M]. 长春: 吉林人民出版社, 2003 25-36
- [2] 黄朝迎. 长江流域旱涝灾害的某些统计特征 [J]. 灾害学, 1992, 7(3): 67-72
- [3] 魏凤英, 曹鸿兴. 长江流域旱涝趋势的主分量预测模型 [J]. 气象, 1990, 16(8): 20-24
- [4] 孙长安, 杨本有. 太阳活动与长江中下游地区旱涝的规律 [J]. 天文学报, 1992, 33(2): 179-185
- [5] 李祚泳, 邓新民. 四川旱涝灾害时间分布序列的分形特征研究 [J]. 灾害学, 1994, 9(3): 88-90
- [6] 王绍武, 龚道溢. 近百年来 ENSO 事件及其强度 [J]. 气象, 1999, 25(1): 9-14
- [7] 陈玉琼. 旱涝灾害指标的研究 [J]. 灾害学, 1989, 4(4): 10-13
- [8] 王平. 自然灾害综合区划的研究现状与展望 [J]. 自然灾害学报, 1999, 8(1): 21-25
- [9] 么枕生. 气候统计学基础 [M]. 北京: 科学出版社, 1984 289-305
- [10] 范垂仁, 顾洪政, 张文跃. 特大旱涝长期定量预测的研究 [J]. 吉林水利, 2001(2): 1-2

Characteristics analysis and trend forecast of drought and flood in Northeast China

WANG Fu-qiang, XU Shi-guo*

(School of Civil and Hydraul. Eng., Dalian Univ. of Technol., Dalian 116024, China)

Abstract Based on the data of drought and flood disasters in Northeast China during 1751 to 2000, the characteristics of drought and flood disasters are analyzed. The relationship between the meteorological factors and the drought and flood disasters has been established, and three methods for forecasting the trends of floods and droughts, which are the transition probability, the phase of the sun activities and El Nino, are proposed. The future trends of drought and flood disasters for the period of 2001 to 2010 are forecasted. The results are summarized as follows: The drought and flood disasters in the 20th century are more serious than before, especially the times of the drought disasters have increased obviously than those in the 19th century. There will be more than 2 drought disasters and 1-2 flood disasters in Northeast China for the period of 2001-2010 and the critical period of flood disasters will be in about 2007. It has been proven to be an effective reference for guiding the practical flood hazard control and mitigation in Northeast China.

Key words Northeast China; drought and flood disasters; transition probability; sunspot; El Nino; long-term forecast