

9403 号强热带风暴致灾暴雨分析

刘运策 李献洲

郑新江

(广州中心气象站, 广州)

(国家卫星气象中心, 北京)

摘 要

本文使用天气图、卫星云图等资料,对 9403 号强热带风暴的致灾暴雨进行分析。指出,西南气流、副高和西风槽是该风暴登陆加强、变性减弱及其致灾暴雨的主要影响系统,其中的中尺度强降水云带是致灾暴雨的关键,文中给出了三种尺度强降水云带强盛期天气系统配置模式。

关键词: 强热带风暴, 致灾暴雨, 中尺度强降水云带。

一、概 况

9403 号强热带风暴是由南海北部赤道辐合带上的扰动发展形成的。它于 6 月 3 日 20 时(北京时,下同)形成后缓慢东移并发展成强热带风暴,于 5 日至 6 日在 20°N , 117°E 附近打转后折向西移并逐渐减弱,8 日上午在徐闻登陆后缓慢北移并再次发展成强热带风暴,保持其强度扫过湛江地区后进入广西境内减弱,于 9 日 08 时减弱成低压,以后进入西风带东北移消亡(见图 1b)。

在这次过程中,广东共出现日雨量在暴雨以上的降水 66 站次,过程雨量 $\geq 100\text{mm}$ 的有 45 站, $\geq 250\text{mm}$ 的有 8 站,其中廉江过程雨量 676mm (9 日 02~08 时 6 小时雨量约 300mm),遂溪杨甘镇 1065mm 。强度之强,雨量之大,范围之广为历史罕见,使江河水位暴涨和泛滥,湛江、茂名、阳江、佛山、清远和广州等地深受洪涝之灾,全省受灾人口 809 万人,受洪水围困 44.6 万人,死 58 人,伤 684 人,无家可归者 25.3 万人,给工农业生产和人民生命财产造成严重破坏,直接经济损失 58 亿元(图 2)。

二、致灾暴雨成因探讨

1. 风暴登陆发展(8 日 08~20 时)是湛江和茂名地区灾害性暴雨的主要原因之一。8 日 08 时中低层是基本类似的东高西低型(图 1a),中层 588 线西端呈近南北向,其脊线大致

* 本文于 1996 年 12 月收到修改稿。

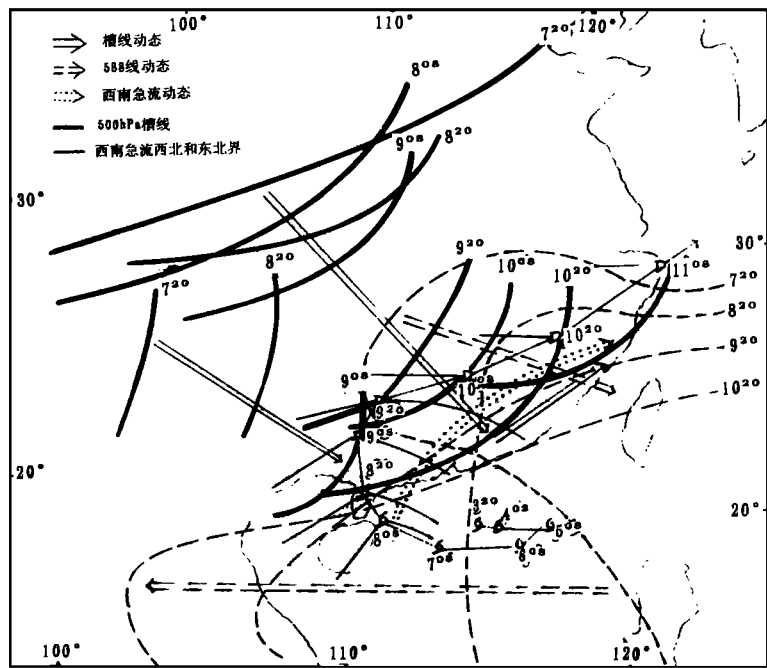


图 1b 6 月 7 日 20 时~ 11 日 08 时主要影响系统动态图
(断线为 588 线)

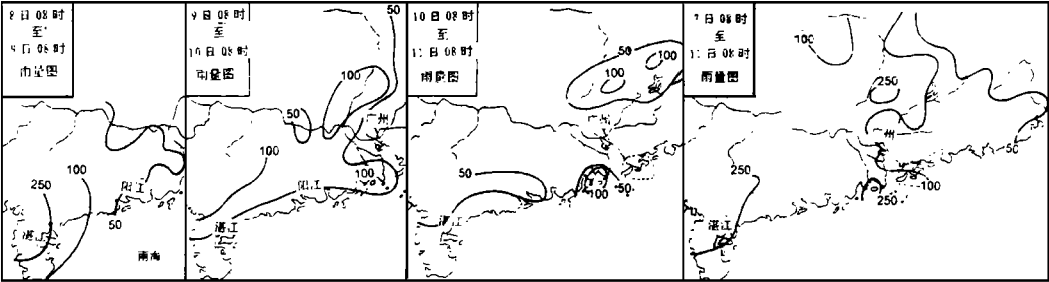


图 2 1994 年 6 月 08 时~ 11 日 08 时广东降水实况图

区(见图 3C 中 B)。

3. 风暴残留低压进入西风带东北移后,迭置在低层暖湿西南急流和地面槽之上的中层西风槽在与副高对峙中缓慢东南压,造成 9 日 08 时~ 11 日 08 时广东大范围暴雨以上降水。由于风暴减弱成低压后并入西风槽,其云系逐渐蜕变成东南压的带状云系(图 3D、C 中 C);由于中低层天气系统配置和地形影响程度不同,云带上的不同地段和时段对流云体的活动也不同,所以在粤西南、佛冈附近和珠海还出现大暴雨和特大暴雨中心。

4. 由强西南和偏南气流的水汽输送所形成的深厚高湿度层及中层降温 and 低层增温的不稳定环境条件是灾害性暴雨过程的基础。对比图 4 和图 2 可以看出,连续三天的暴雨区

致未出现特大暴雨的日雨量, 但过程雨量却很大。

三、中尺度强降水雨带天气系统配置模式

1. 过程日雨量出现特大暴雨

此次过程日雨量出现特大暴雨的有 5 个站: 雷州、湛江、遂溪、廉江和斗门。从湛江、廉江和斗门三站特大暴雨日的 24 小时(图略)降水曲线可以看出: (1) 三站都有降水增幅时段, 其增幅强度及其时间长短造成其日雨量差别; (2) 增幅降水对特大暴雨形成起关键作用: 湛江日雨量是 335.7mm, 其中 8 日 17~22 时 5 小时增幅降水是 222.3mm, 约占 70% (增幅降水雨强: 1 时次暴雨, 其余大雨); 廉江日雨量是 427.1mm, 其中 8 日 19 时~9 日 08 时 13 小时增幅降水是 380.7mm, 约占 89% (1 时次中雨, 其余平均大雨, 由于自记仪故障, 所以只有 20~08 时的总雨量); 斗门日雨量是 250.2mm, 其中 10 日 03~07 时和 10~12 时 6 小时增幅降水是 204.8mm, 约占 83% (6 个时次大雨)。普查其它大暴雨和特大暴雨站的日降水曲线, 具有同样特征。

对比(图 2、图 3)分析可以看出: (1) 8 日广东西南部暴雨以上降水是由风暴涡旋云系造成的, 9~10 日大范围暴雨以上降水是残留低压并入西风槽后高空槽带状云系东南压造成, 由于中低层天气系统配置和地形影响程度不同造成湛江、佛冈和斗门三个致灾暴雨中心; (2) 中尺度强降水云带是造成增幅降水从而形成特大暴雨的关键: 三站增幅降水时段分别与三条中尺度强降水云带影响时段相对应, 湛江是受第一、二条(A、B)中尺度强降水云带影响, 廉江、斗门分别受第二、第三条(B、C)的影响。

2 中尺度强降水云带天气系统配置模式

此过程中对陆地影响较大的中尺度强降水云带有三条, 两条是产生在风暴环流中的切变线上, 称作切变 A 型和切变 B 型, 另一条产生在槽前急流辐合线上, 称为急流辐合型, 如图 4 所示。

(1) 切变 A 型(图 4a), 这是南海风暴较常见的一种类型, 多在风暴中心附近, 尺度较小。其特征是: ①风暴处于锋前暖区, 西南气流东北伸形成急流, 副高逼近风暴形成偏南急流, 西南急流与偏南急流辐合向风暴卷入并迭置高层弱辐散场之下, 使风暴发展; ②中尺度强降水云带生成在风暴环流中的深厚的切变线上(从地面到中层), 此处是中尺度雨带的北界, 是西南急流前缘与绕过风暴中心的干偏北气流的交汇处, 是辐合最强和深厚干湿区交汇的不稳定区; ③以新陈代谢的方式随风暴移动和维持, 绕过风暴中心的偏北气流中生成的对流块体, 当其顺环流移至切变线附近时, 迅猛发展合并, 并继续在深厚的西南和偏南急流中移动和发展, 当其移到倒槽附近时又消亡; 如此循环继续; ④当风暴、或切变、或西南急流减弱时、或地面与中低层切变不迭置时, 则中尺度强降水云带减弱或消失。

(2) 切变 B 型(图 4b), 这是冷空气从西路扩散卷入风暴环流时一种类型, 尺度较大, 它与切变 A 型的主要区别是: ①西风槽逼近风暴, 槽后干冷偏北气流卷入风暴环流, 使其低层

1960 年 7~ 12 月西北太平洋月平均表层水温(°C)

站号	纬度(°)	<div>月 经度(°)</div>	7	8	9	10	11	12	站号	纬度(°)	<div>月 经度(°)</div>	7	8	9	10	11	12
1	45N	150E	8.5	13.0	14.0	9.5	7.3	3.7	31	30N	155E	27.2	27.9	28.1	27.3	25.0	22.7
2		155	9.1	14.0	15.0	11.0	7.1	4.5	32		160	27.0	27.6	27.5	27.0	24.8	22.4
3		160	10.2	13.9	15.1	12.1	9.2	5.0	33		165	26.6	27.9	27.3	26.3	24.2	22.2
4		165	10.0	12.6	14.8	12.1	8.8	5.0	34		170	26.3	27.4	27.2	25.5	23.8	21.8
5		170	10.0	12.0	13.3	11.0	8.0	6.0	35		175	25.8	27.3	27.0	25.0	23.0	21.5
6		175	10.0	12.0	13.2	11.0	8.2	8.0	36		180	25.8	27.0	26.6	24.5	23.0	21.0
7		180	10.2	12.3	12.9	11.3	8.3	7.0	37	25N	125E	29.3	28.1	29.0	27.9	25.8	24.2
8	40N	145E	20.0	23.0	20.0	17.8	15.5	12.8	38		130	29.3	28.0	28.8	28.3	25.8	24.5
9		150	18.2	21.0	21.7	18.0	15.0	11.5	39		135	29.4	28.5	28.7	28.1	26.0	24.7
10		155	19.4	21.0	22.3	19.8	17.0	14.0	40		140	29.6	28.3	28.7	27.7	25.9	25.0
11		160	17.4	20.0	21.1	19.0	16.0	14.0	41		145	29.3	28.4	28.7	27.9	26.4	25.2
12		165	17.1	19.5	20.8	18.9	16.1	13.6	42		150	29.3	28.6	28.8	28.1	26.8	25.8
13		170	17.1	20.0	20.0	18.0	15.1	13.0	43		155	28.9	28.8	28.9	28.2	27.0	26.3
14		175	16.8	20.0	19.5	19.0	15.8	13.5	44		160	28.8	28.5	28.8	28.6	26.7	26.2
15		180	16.8	19.5	20.0	16.7	14.7	12.0	45		165	28.6	28.4	29.1	27.8	26.4	26.2
16	35N	140E	25.2	27.1	27.0	24.3	23.0	20.0	46		170	28.0	28.3	29.2	27.6	25.8	25.2
17		145	24.7	26.2	27.0	24.2	22.4	21.2	47		175	28.0	28.3	29.0	27.2	26.2	25.0
18		150	23.8	26.2	26.8	24.8	22.2	20.3	48		180	27.5	28.2	28.3	27.0	25.7	24.6
19		155	23.0	26.3	26.1	24.0	21.4	19.8	49	20N	120E	30.0	28.9	29.2	28.3	27.2	25.8
20		160	22.7	25.7	25.9	25.0	22.0	20.0	50		125	29.6	29.0	29.4	28.5	27.7	26.3
21		165	22.8	26.0	24.9	24.5	21.4	19.3	51		130	29.4	28.7	28.9	28.6	28.2	26.3
22		170	23.6	25.5	24.9	23.5	21.1	19.5	52		135	30.1	28.7	29.2	28.7	28.3	26.4
23		175	23.1	25.1	24.2	22.0	19.8	18.3	53		140	30.2	29.0	29.3	28.0	28.1	27.3
24		180	24.1	25.1	24.0	22.0	19.9	18.3	54		145	30.1	29.2	29.6	29.0	28.3	27.5
25	30N	125E	28.0	28.5	28.0	26.0	21.8	20.0	55		150	30.0	29.3	29.7	29.1	29.2	28.2
26		130	28.4	28.5	27.9	26.9	24.3	22.4	56		155	29.8	29.3	30.0	29.2	28.7	28.0
27		135	28.1	28.3	28.2	26.7	24.3	22.5	57		160	29.3	29.2	30.1	29.2	28.4	27.4
28		140	27.2	28.0	28.2	26.7	24.2	22.3	58		165	28.8	28.9	29.9	29.1	28.2	27.3
29		145	26.5	27.8	28.0	26.5	24.4	22.7	59		170	28.6	28.7	29.4	28.7	27.9	27.3
30		150	26.7	27.6	28.0	26.5	25.0	22.7	60		175	28.4	28.7	29.2	28.3	27.9	26.8
									61		180	28.3	28.1	28.8	28.0	27.4	26.9

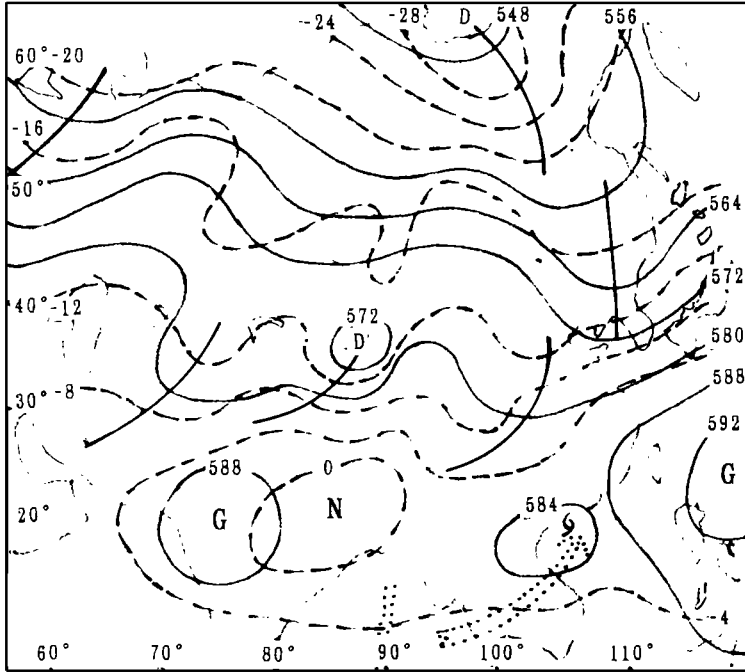


图 1a 1994 年 6 月 8 日 20 时(北京时,下同) 500hPa 形势图
(点线为 850hPa 槽线与强西南气流)

与风暴同纬度;中印半岛热低压到风暴中心赤道辐合带明显,低层较强西南气流经中印半岛向风暴推进;风暴处于副高西侧的锋前暖区中,由于副高逼近风暴,偏南气流和水汽输送增强(珠江口以西偏南风达 20m/s 以上,其低层水汽输送达 $34.1\text{k}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$);由于西南气流东北伸,切变北抬变横,西南急流形成强水汽输送带(海口达 $29.2\text{k}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$);这支西南急流与偏南急流辐合向风暴卷入,并迭置在 200hPa 风暴中心西南侧的弱辐散场之下,使 9403 号风暴登陆发展。其反馈作用又使风暴涡旋云系、切变系统和中尺度强降水云带发展和维持,影响湛江和茂名地区。

从 8 日 20 时以前的卫星云图(图 3)可以明显看出风暴的发展情况:07 时 36 分风暴呈结构不清楚的南大北小的弱而不对称云型,只在切变线附近分布着三小块较强对流体(图 3A 中 a、b、c);以后随着副高主体西伸和地面切变北抬变横,西南气流云系发展,风暴涡旋结构渐变得较标准, -8.0°C 以下的中尺度强降水云带活动频繁,其中风暴中心以南 120km 范围内的对应着切变线的一条云带维持 9 小时以上(图 3B 中 A)。

2. 由于西风槽影响使风暴变性减弱(8 日 20 时~9 日 08 时)(图 2a),其具有弱锋性质的切变系统影响是湛江和茂名地区致灾暴雨的又一主要原因。8 日 20 时,一西风槽从云贵高原滑下卷入风暴外围(河内中层由东北风转为西北风;低层西风槽与风暴倒槽相连,槽后的河池、百色由东南风转为 $8\sim 10\text{m/s}$ 的西北风),使风暴西北象限辐合气流增强,但其低层暖性结构也开始逐渐破坏;以后,滑下的西风槽已并入风暴的切变线,风暴低层环流变为半冷半暖结构,在其具有弱锋性质的切变线上生成的中尺度强度降水云带影响湛江和茂名地

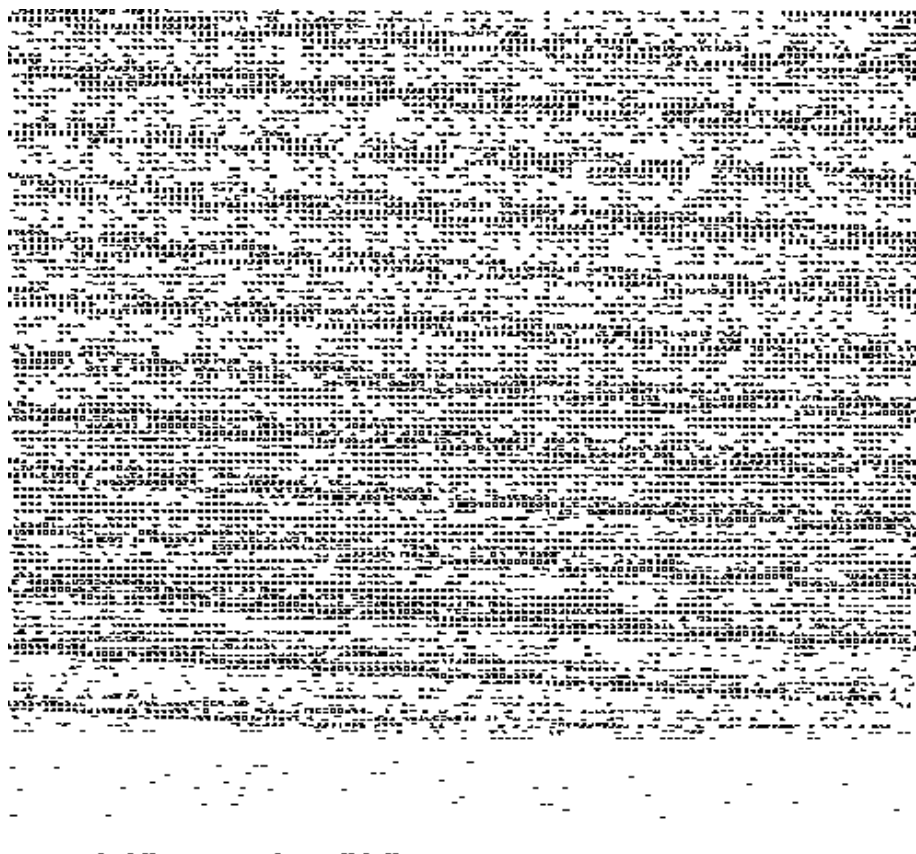


图3 1994年6月8~10日9430号强热带风暴增强红外云图

(图中大写字母A、B、C是造成特大暴雨的三条中尺度云带,

A:8日07 36, B:8日15 36, C:8日22 36, D:9日13 36, E:10日04 36.)

都处于地面至中层 $T-T_d \leq 2^\circ\text{C}$ 的高湿度区,暴雨中心区几乎全部处于 $T-T_d \leq 1^\circ\text{C}$ 和中层降而低层升温的近于饱和的不稳定区中。

5. 致灾暴雨中心湛江、斗门和佛冈都处于沿海或山脉迎风坡,这说明在主要天气系统影响时,强西南或偏南气流在海岸和山脉迎风坡的辐合抬升起了降水增幅作用。6月8日08时~9日08时,9403号风暴以 13km/h 的速度在狭长的雷州半岛上缓慢北移,其西南是北部湾,东面是南海,北端是云开山脉南侧。许多研究结果指出水汽输送主要在边界层,当气团性质确定时近地面风速则成为水汽输送量的关键因子。平坦的北部湾和南海上的强西南风和偏南风在向风暴辐合时,由于海岸线或山脉迎风坡的辐合抬升,既为风暴提供了旋涡动能又提供了水汽源,促进了涡旋云系和中尺度强降水云带发展。日雨量= \sum 雨强 \times 影响时间,降水系统越强,移速越慢,则日雨量越大。风暴云系缓慢北移,使其较强降水云系和中尺度强降水云带影响湛江的时间最长,形成特大暴雨中心。9~10日中层西风槽南压影响时斗门和佛冈出现致灾暴雨中心的情况与之相类似,斗门10日出现特大暴雨,而佛冈虽然有九连山等山脉的辐合抬升作用,但由于风暴减弱和地面摩擦作用使近地面层风速太弱,以

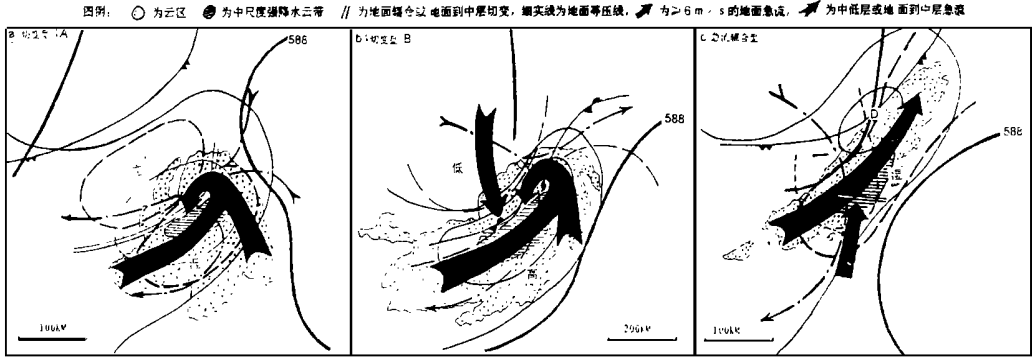


图 4 中尺度强降水云带天气系统配置模式

(粗实线为中层槽线和 588 线, 粗点线为中层 $\Delta T_{24} < 0^\circ\text{C}$ 的等值线, 粗断线为地面到中层 $T - T_d = 2^\circ\text{C}$ 或低层 Q_{se} 等值线, 粗点划线为高层流线)

环流变为半冷半暖结构; ②中尺度强降水云带生成在西南暖湿气流与干冷偏北气流交汇的具有弱锋性质的切变线上, 是切变深厚(从地面到中层)、辐合强和能量梯度最大区; ③上述条件减弱或切变在垂直方向不迭置时, 则中尺度强降水云带减弱。

(3) 急流辐合型(图 4c), 这是南压槽前西南急流爆发并迭置地槽区上的常见类型, 其特征: ①中层西风槽东南压迭置地槽区, 槽前地面到中低层西南急流迭置; ②中尺度强降水云带产生在中低层急流和地面急流迭置处的地面辐合区, 此处是深厚高湿、高能和中层降温的不稳定区; ③中尺度强降水云带的移动受中层槽和西南气流共同影响, 当上述条件减弱或急流不迭置时, 中尺度强降水云带则减弱。

四、结束语

1. 9403 号强热带风暴登陆后由于受西南气流、副高和中纬环流影响, 可以分为登陆加强、变性减弱和残留低槽三阶段, 使广东连续三天产生大范围暴雨以上降水, 造成历史罕见的灾害。

2. 形成灾害性暴雨的关键是中尺度强降水云带的降水增幅作用, 文中给出了三种中尺度强降水云带模式: 切变 A 型、切变 B 型和急流辐合型。使用其天气系统配置及其相互作用可以在短期内估计中尺度强降水云带的产生, 通过其模式及云图跟踪可做短时甚至短期的致灾暴雨的预报。

3. 个例分析中归纳的模式难免偏颇甚至有误, 有待进一步修改完善。