

文章编号: 1004-4965(2009)增刊-0132-09

## 乐清四中型水库库区的大暴雨成因分析

范爱芬, 陈列, 娄小芬, 郑沛群, 彭霞云

(浙江省气象台, 浙江 杭州 310017)

**摘 要:** 大暴雨是浙江省乐清水库致洪的直接原因。利用 NCEP  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  全球再分析资料、常规资料、雷达资料和地面中尺度自动站资料, 详细分析了 2004—2008 年乐清四中型水库大暴雨过程的发生、发展机制。水库大暴雨是在有利的大尺度环流背景下, 不断有中小尺度系统的发生发展而产生。主要影响系统为登陆台风、西风低槽和低空急流。物理量诊断分析表明, 低层强辐合, 高层辐散、旺盛的上升运动以及强大的低空急流和充沛的水汽供给, 为水库大暴雨的发生发展提供了极为有利的动力条件。台风强降水出现在台风螺旋雨带或者台风眼周围的密闭云团中的强降雨中心内。业务预报中可利用新一代天气雷达的基本反射率叠加风暴跟踪信息和冰雹指数, 结合基本速度和垂直积分液态含水量等指标来跟踪台风强降雨中心, 对水库大暴雨的监测和预警有重要意义。

**关 键 词:** 大暴雨; 登陆台风; 西风低槽; 低空急流; 物理量诊断; 基本反射率; 风暴跟踪信息; 冰雹指数

中图分类号: P426.62

文献标识码: A

Doi: 10.3969/j.issn.1004-4965.2009.Z1.016

### 1 引 言

浙江省乐清市建有福溪、淡溪、白石和钟前四座中型水库, 总库容 9 700 万立方米, 装机 7 600 kW, 其主要功能有防洪、灌溉、发电和供水等。但几乎每年都要发生的洪灾不仅对水库功能的正常发挥带来严重影响, 还会造成人民生命危险和重大财产损失。而大暴雨, 特别是台风大暴雨是致洪的直接原因。如 2005 年第 5 号台风“海棠”袭击温州期间, 乐清暴雨倾盆, 7 月 19 日凌晨, 福溪、淡溪、钟前三座水库全部超过台控水位, 水库下游乡镇已经受淹, 如果开闸放水保坝, 则下游水位上涨, 危及被洪水围困的群众的安全; 然而夜黑水涨, 转移群众将面临生命危险。但如果不加大泄洪, 一旦大坝出现危险, 将是覆顶之灾。最后经专家认定, 适当加大泄洪流量,

同时加强观测, 可以延到天亮再开大边孔口径放水。19 日 6 时淡溪水库水位已达 46 m, 在下游 7 个乡镇群众大面积撤离之后, 水库再加大泄洪量, 水库水位开始缓慢下降。因此, 深入对乐清水库大暴雨过程的研究十分必要。

浙江省自 2004 年开始陆续建立中尺度地面雨量站, 乐清四中型水库中的福溪、淡溪、白石各建有一个中尺度雨量站, 钟前水库距白石水库只有 1 km, 未设雨量站。本文以此 3 个中尺度雨量站的雨量为基准, 参考邻近中尺度雨量站的记录, 对 2004—2008 年四中型水库的大暴雨个例(大暴雨标准: 四中型水库至少有一个水库以上 24 小时雨量超过 100 mm, 同时邻近地区至少 3 站以上日雨量超过 100 mm 为一次大暴雨过程)进行分析研究, 发现乐清四中型水库的大暴雨过程 90%由登陆福建中北部沿海、浙江中南部沿海和

收稿日期: 2009-06-28; 修订日期: 2009-08-18

资助项目: 浙江省面上科研社会发展项目(2008C23006)资助

通讯作者: 范爱芬, 女, 浙江省人, 从事天气预报工作。E-mail: [faf196311@yahoo.com.cn](mailto:faf196311@yahoo.com.cn)

浙闽交界处的台风造成，西风带系统造成的大暴雨过程只有 10%。所有大暴雨过程都是在有利的大尺度环流背景下，不断有中小尺度系统的发生发展而产生。其中低空急流为水库大暴雨的发生发展提供了充沛的水汽和动量能量条件。物理量诊断表明水库大暴雨的落区和强度与低空急流的位置和强度、水汽通量散度、低空辐合及上升运动有较好的对应关系。水库大暴雨过程的中小尺度系统，在业务预报中可利用新一代天气雷达来跟踪，对水库大暴雨的监测和预报有实际意义。

## 2 乐清水库大暴雨主要由登陆福建中北部沿海、浙江中南部沿海以及浙闽交界处的台风造成

2004—2008 年 5 年间，乐清四中型水库共出现 10 次大暴雨过程，其中 9 次大暴雨发生时有台风登陆福建中北部沿海、浙江中南部沿海和浙闽交界处(占 90%)，西风带系统造成的大暴雨过程只有 10%(表 1)。但并非所有在这一带沿海登陆的台风都会给水库带来大暴雨。大暴雨的发生与否与台风的路径、强度、移动速度及环境场紧密相关。

表 1 2004—2008 年四水库大暴雨个例概况

| 影响系统    | 影响时间         | 过程雨量/mm                    | 24/6/3小时最大雨量/mm                                  | 登陆时强度          | 登陆地点 |
|---------|--------------|----------------------------|--------------------------------------------------|----------------|------|
| 台风“云娜”  | 2004.8.11—14 | 缺                          | 缺                                                | 950 hPa 45 m/s | 浙江温岭 |
| 台风“海棠”  | 2005.7.17—21 | 白石: 179<br>淡溪: 627 福溪: 缺   | 白石: 174/153/55<br>淡溪: 428/211/163                | 975 hPa 33 m/s | 福建连江 |
| 台风“麦莎”  | 2005.8.5—7   | 白石: 146<br>淡溪、福溪: 缺        | 白石: 113/39/26                                    | 950 hPa 45 m/s | 浙江玉环 |
| 台风“龙王”  | 2005.10.2—4  | 白石: 131<br>淡溪: 129 福溪: 缺   | 白石: 130/110/84<br>淡溪: 127/114/106                | 975 hPa 33 m/s | 福建晋江 |
| 台风“碧利斯” | 2006.7.13—16 | 白石: 175<br>淡溪、福溪: 缺        | 白石: 152/72/58                                    | 975 hPa 30 m/s | 福建霞浦 |
| 台风“韦帕”  | 2007.9.17—19 | 白石: 329<br>淡溪: 301 福溪: 缺   | 白石: 219/118/84<br>淡溪: 206/71/41                  | 950 hPa 45 m/s | 浙江苍南 |
| 台风“圣帕”  | 2007.8.17—21 | 白石: 218<br>淡溪: 264 福溪: 缺   | 白石: 130/109/71<br>淡溪: 129/84/73                  | 975 hPa 33 m/s | 福建惠安 |
| 台风“罗莎”  | 2007.10.6—8  | 淡溪: 244<br>白石、福溪 缺         | 淡溪: 178/72/40                                    | 975 hPa 33 m/s | 浙闽交界 |
| 台风“凤凰”  | 2008.7.27—30 | 白石: 146<br>淡溪: 169 福溪: 361 | 白石: 116/52/36<br>淡溪: 113/44/30<br>福溪: 212/105/61 | 975 hPa 33 m/s | 福建福清 |
| 西风带低槽   | 2008.6.13—14 | 淡溪: 127<br>福溪: 94 白石: 缺    | 淡溪: 119/55/33<br>福溪: 91/54/38                    |                |      |

\*由于 2004 年水库中尺度雨量站缺资料，本文选了 2004 年影响浙江最为严重的“云娜”台风作为水库大暴雨个例。

### 2.1 大暴雨和台风路径的关系

导致乐清四中型水库发生大暴雨的登陆台风路径可归纳为以下三类(图 1)。

一类为登陆福建中北部沿海后西行，包括西北行和先西行，后西北行(0808“凤凰”、0709“圣帕”、0505“海棠”、0604“碧利斯”、0519

“龙王”)。该类台风的特点是：登陆台湾后经台湾海峡二次登陆福建中北部沿海，往往水库暴雨持续时间长，易出现大暴雨和特大暴雨。由于台风登陆台湾期间可能出现打转现象或经过海峡时移动缓慢，水库大暴雨多数出现在台风登陆前和台风登陆期间。如台风登陆后强度减弱缓慢或有

热带辐合带云团不断卷入,水库大暴雨将持续更长时间、降水更强,如 2005 年的“海棠”台风。

二类为登陆浙江中南部沿海后西行(0414“云娜”)或西北行(0509“麦莎”)。该类台风的特点是:从东南向西北方向行进中登陆浙江中南部沿海,未登陆台湾,登陆时强度强,登陆后强度减弱缓慢。首先,水库大暴雨由台风登陆前 12 小时的台风前云团和台风登陆前后的台风本体云团造成;其次是由台风登陆后降水造成。登陆浙中南沿海的台风在登陆后如折向西南,台风倒槽发展旺盛,其登陆后给水库造成的降水比登陆前降水还大,登陆后如有冷空气配合,降水强度则更强,如 2004 年的“云娜”台风。

三类为登陆浙闽交界后北上的台风(0713“韦帕”、0716“罗莎”)。

## 2.2 大暴雨和台风强度及移动速度的关系

水库大暴雨的发生除与台风路径紧密相关外,还取决于台风强度及其移动速度。由表 1 可知,除台风“碧利斯”外,给水库带来大暴雨的台风,登陆时强度均达到台风级别。通常台风强度越强移动速度越慢,水库降雨强度就越强,大暴雨持续时间就越长。反之如台风登陆时强度不够强,登陆后又维持时间不长,则水库无大暴雨。

如 0421 号台风“海马”属于上述第二类路径(图略),登陆温州后西北行,并进入乐清,但温州和乐清无暴雨。原因是“海马”强度弱,登陆时只达到热带风暴强度;登陆后不到 3 个小时即在温州境内快速消亡。再如 0505 号台风“海棠”和 0808 号台风“凤凰”路径相似,均为上述第一类路径(图 1),登陆时强度强,两台风均给水库带来大暴雨。但无论是过程降水总量还是降水强度,“海棠”均超“凤凰”。原因之一是台风“海棠”登陆台湾后入海打转并再次登陆台湾,且穿过台湾省进入台湾海峡后又移动缓慢,从而使台风影响水库的时间远远长于“凤凰”。受“海棠”影响,乐清水库出现特大暴雨。

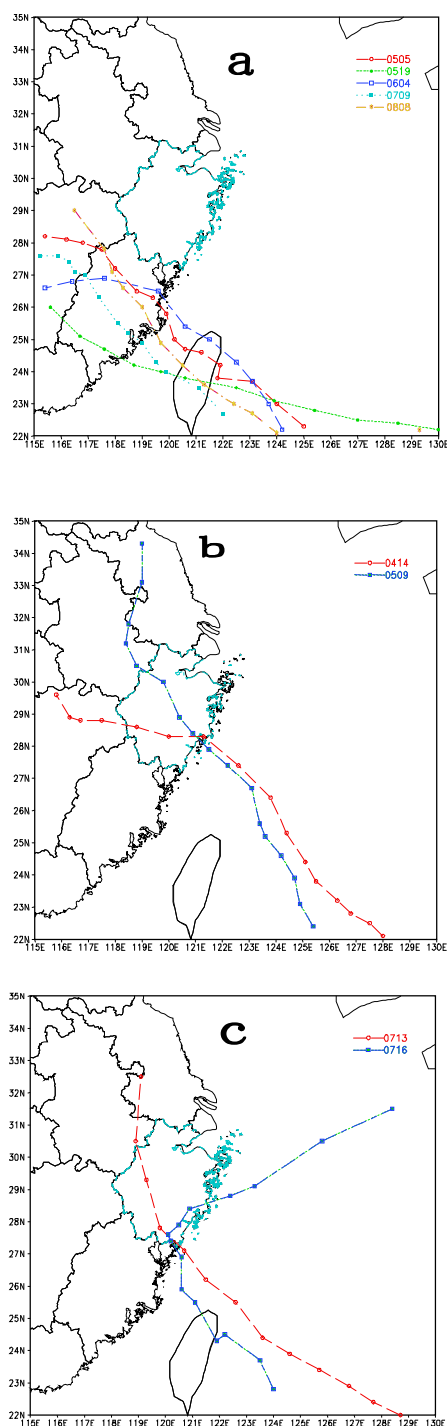


图 1 三类台风路径 a. 第一类; b. 第二类; c. 第三类。

## 3 低空急流使大暴雨维持和发展

低空急流是一种动量、热量和水汽的高度集中带,被认为是给中纬度暴雨提供水汽和动量最重要的机制<sup>[1]</sup>。低空急流有利于大暴雨的发生已有很多例证<sup>[2-7]</sup>。本文通过对 2004—2008 年 10 例

水库大暴雨和数十例水库暴雨过程的天气形势进行综合分析,发现无论是西风系统还是台风造成的水库暴雨和大暴雨,均存在低空急流。水库暴雨发生时,低空(850 hPa)往往有 12 m/s 以上急流出现或有低涡、暖切影响。大暴雨发生时低空急流达到 18 m/s 以上,台风大暴雨大都达到 22 m/s 以上,降雨量最大的为“海棠”和“罗莎”,达 32 m/s。少数时候由于有暖切变影响,低空急流减弱时,暴雨仍能持续。

### 3.1 低空急流与台风大暴雨

台风大暴雨除与台风路径、强度和移动速度有关外,还与台风所处的大气环流形势紧密相关。台风大暴雨发生和维持的一个重要机制是:低空东到东南风急流源源不断地提供和维持水汽和能量的供给。如 0604 号台风“碧利斯”登陆后强度虽很快减弱,但由于东南沿海始终有强低空急流存在,水库仍有大暴雨发生。另外 0414 号台风“云娜”、0505 号台风“海棠”以及 0618 号台风“罗莎”影响浙江期间,水库流域自始至终处于强大的低空东风和东南风急流中,水库流域出现特大暴雨。

水库库区的台风大暴雨不仅与低空急流的存在有关,还取决于低空急流的方向。急流方向一旦从偏东转为偏南,水库雨势即减弱。如“凤凰”台风影响浙江期间,29 日夜里低空急流强度虽然达到 16~20 m/s,但水库流域风向已转为偏南到西南,水库暴雨结束。

### 3.2 低空急流与西风系统大暴雨

2004—2008 年 5 年期间,由西风带系统造成的水库大暴雨只有一次,出现在 2008 年 6 月 13—14 日。期间 850~500 hPa 为深厚的低涡、低槽和暖切东移影响,低空西南急流达 18 m/s 以上,且最大急流轴正好位于水库流域上空,并有弱冷空气渗透影响。

西风系统多带来水库库区暴雨,而造成水库大暴雨的概率很小,这与水库所处地形有关。乐清四中型水库座落于东北-西南向的雁荡山区,当有东或东南急流存在时,风向与山脉的迎风面正好正交,从而受到地形的强迫抬升作用而导致雨量增加。而西南气流就没有这种地形增幅作用,除非系统足够强,否则不易产生大暴雨。

## 4 物理量诊断分析

对乐清水库 10 次大暴雨过程的多个物理量场进行计算分析,发现低空急流、水汽通量散度、垂直速度、低空辐合和高空辐散与水库大暴雨有较好的对应关系,能很好地反映水库的降雨强度。

表 2 为 10 次水库大暴雨过程的 850 hPa 低空急流和水汽通量散度以及沿水库所在经度 121°E 所做垂直剖面上的最大垂直速度、低空辐合和水库附近上空最大辐散(水库大暴雨发生时,上升气流往往发生倾斜,最大辐散不一定出现在水库的正上方)。

表 2 暴雨最强时水库上空的物理量值

| 影响系统    | 低空急流/<br>(m/s) | 水汽通量散度/<br>( $10^{-7}$ g/<br>( $\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s}$ )) | 垂直速度/<br>(m/s) | 高空辐散/<br>( $10^{-5}/\text{s}^{-1}$ ) | 低空辐合/<br>( $10^{-5}/\text{s}^{-1}$ ) |
|---------|----------------|---------------------------------------------------------------------------------|----------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 台风“云娜”  | 22             | 10                                                                              | -1.1           | 5                                    | -9                                   |
| 台风“海棠”  | 32             | 11                                                                              | -2.0           | 6                                    | -11                                  |
| 台风“麦莎”  | 26             | 7                                                                               | -0.8           | 3                                    | -5                                   |
| 台风“龙王”  | 18             | 6                                                                               | -0.8           | 2                                    | -6                                   |
| 台风“碧利斯” | 22             | 8                                                                               | -1.9           | 3                                    | -8                                   |
| 台风“韦帕”  | 22             | 9                                                                               | -1.4           | 5                                    | -10                                  |
| 台风“圣帕”  | 24             | 8                                                                               | -1.1           | 2                                    | -7                                   |
| 台风“罗莎”  | 32             | 10                                                                              | -1.8           | 4                                    | -10                                  |
| 台风“凤凰”  | 20             | 8                                                                               | -1.2           | 4                                    | -7                                   |
| 西风槽     | 18             | 4                                                                               | -0.8           | 3                                    | -5                                   |

由表 2 可以看到,乐清水库出现大暴雨时,其上空处于强烈的低空辐合和高空辐散中,最大辐合出现在 925~850 hPa 之间。高层明显辐散、低层明显辐合的配置为大暴雨的发生提供了极为有利的动力条件<sup>[9]</sup>。

10 次大暴雨过程中,水库流域上空的低空辐合均达到  $-5 \times 10^{-5}/\text{s}^{-1}$  以上,最大为“海棠”达到  $-11 \times 10^{-5}/\text{s}^{-1}$ ,其次为“罗莎”、“韦帕”、“云娜”和“碧利斯”,达到  $-8 \times 10^{-5}/\text{s}^{-1}$  以上。相应的这 5 个台风影响期间,乐清水库都出现了特大暴雨。西风槽影响时,低空辐合最小,为  $-5 \times 10^{-5}/\text{s}^{-1}$ ,较之其他 9 个台风大暴雨过程,其降水强度也最弱(图 2)。

强烈的低层辐合和高层辐散为水库流域带

来了旺盛的上升运动,最大垂直速度一般出现在 700 hPa。大暴雨期间,水库上空的垂直速度都大于 0.8 m/s,最大为“海棠”,达到 2 m/s,且强降水落区与深厚的上升运动有较好的对应关系(图略)。

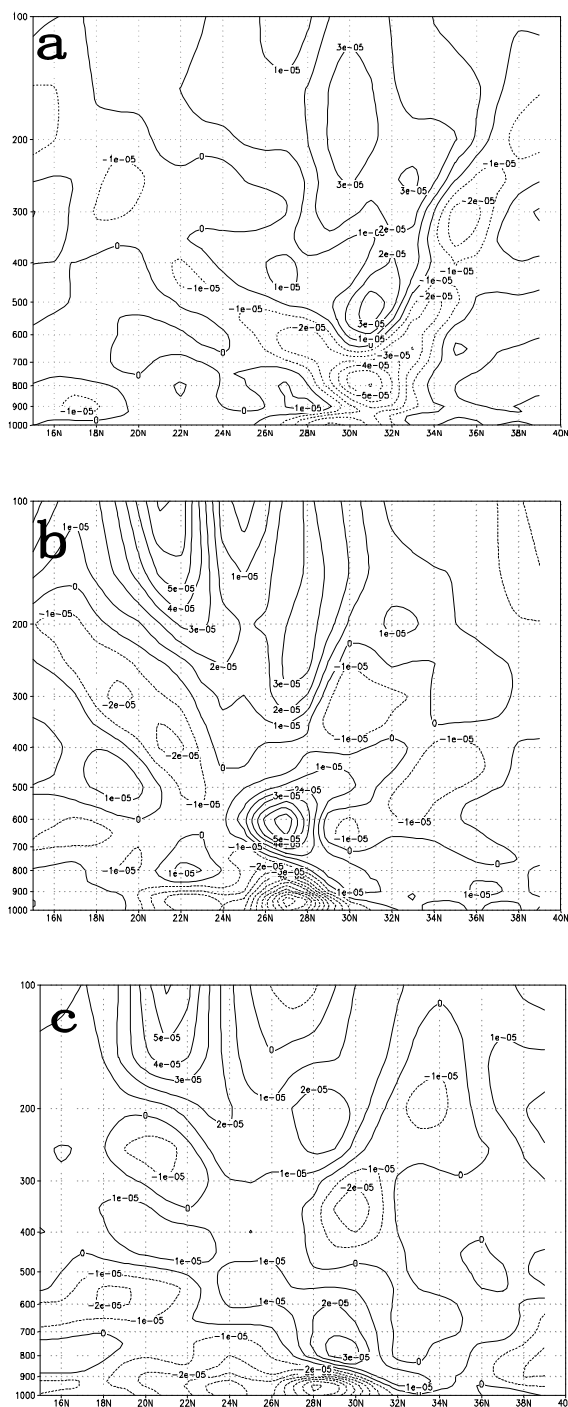


图2 西风槽(a)、“海棠”台风(b)散度垂直剖面图和 9 个台风的散度垂直剖面合成图(c)

强降水的发生还需要有源源不断的水汽输送,并在降水区附近辐合。有研究表明<sup>[10]</sup>,当水汽通量辐合随高度减小时,对流不稳定随时间增强,有利于中尺度对流不稳定区的建立。本文 10 次水库库区大暴雨过程中,水汽通量辐合几乎都随高度减小。降水最强时,水库流域 850 hPa 的水汽通量散度都大于  $4 \times 10^{-7} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ ,其中“罗莎”、“海棠”、“云娜”达到了  $10 \times 10^{-7} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$  以上,且降水与低空急流和水汽通量散度的对应关系非常好,水库流域的急流越大,水汽的辐合越强烈,降水也越明显。如“海棠”的低空急流和水汽通量辐合远大于“凤凰”(图 3,见 P138)，“海棠”台风 850 hPa 上水汽通量辐合中心位于台风中心北部,即温州地区,中心值为  $-14 \times 10^{-7} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ 。“凤凰”台风 850 hPa 上水汽通量辐合中心位于台风中心东南部的台湾省,中心值  $-10 \times 10^{-7} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ 。因此,尽管两个台风路径极为相似,影响期间均给乐清水库带来了大暴雨,但“海棠”的降水强于“凤凰”。

## 5 水库大暴雨的中小尺度系统分析

通过对乐清中型水库大暴雨个例的分析发现,不管是台风登陆前降水,还是登陆后降水,台风强降水都集中在台风螺旋雨带或者台风眼周围的密闭云团中,但是台风眼周围的云团和螺旋雨带覆盖面积很大,强降水会在所有被其覆盖的区域发生,而只有一些特殊的强降雨中心出现,其中还伴随着中气旋、龙卷、各种中小尺度的风暴系统等。为了研究这些中小尺度系统,我们利用新一代天气雷达的基本反射率、风暴跟踪信息、冰雹指数、中气旋、基本速度、垂直积分液态含水量等来分析。

### 5.1 基本反射率叠加风暴跟踪信息和冰雹指数

通过对上述 10 次台风大暴雨个例的分析,我们找到了一些共同点。主要有 3 个方面:(1) 强降雨中心的回波强度大于 50 dBz;(2) 伴有多个明显的风暴单体经过该强降雨中心区域;(3) 强降雨中心区域及临近地域有强冰雹指数<sup>[11]</sup>出现,这不一定说明当地会出现冰雹,但可以说明当地有众多的大面积后向散射体存在,可能是冰雹也

有可能是大体积的降水粒子, 后一种情况出现的比较多。根据自动站实际观测资料, 当时出现的是短时大暴雨。

例如: 2006 年 7 月 14 日 06—09 时, 0604 号台风“碧利斯”登陆期间, 白石每小时降雨量达到 15~30 mm, 对应当时的雷达回波图, 可以观测到螺旋雨带的强回波区位于浙江省南部沿海, 受其影响温州、台州南部、丽水东部都出现了明显的降雨, 但是超过 50 dBz 的回波则停留在温州、乐清、永嘉这一个三角地带, 叠加冰雹指数、中气旋和风暴跟踪信息 3 个产品之后可以看到, 在水库库区同时有 3 个风暴体和 2 个强冰雹指数体经过。如 2007 年 10 月 7 日 06—12 时, 0716 号台风“罗莎”登陆期间, 淡溪每小时降雨量达到 10~20 mm, 特别是 06 时、11 时雨量接近 20 mm。06 时左右有一条台风螺旋雨带正位于温州、台州上空, 乐清的的回波强度超过 50 dBz, 有 2 个风暴体经过该地区, 同时还有 3 个强冰雹指数出现。10 时第二条螺旋雨带经过温州、台州地区, 乐清水库流域地区的回波强度达到 55 dBz, 有 2 个风暴单体将要经过淡溪水库, 同时在淡溪流域有 2 个冰雹指数出现。显然当螺旋雨带中的中小尺度系统, 经过水库流域地区时, 都将引起水库短时大暴雨。对水库大暴雨的监测和预警有重要意义。

## 5.2 基本速度

对速度图的分析中, 发现在强降雨中心, 也就是风暴体的附近或者其生成以前, 都会有速度复合带出现, 有时甚至会出现中气旋<sup>[12]</sup>。这有利于风暴单体的形成和发展。

对上述 2 个台风同一时间再分析速度图, 可以看到前一时次, 在乐清地区风暴移动方向的上游, 出现了一个比较明显的速度模糊区, 最大移动速度甚至达到 -40 m/s, 表明有一个强风区出现, 并在风速前方形成较强的辐合区域, 有利于强风暴的形成和发展。图 5a “碧利斯”台风的速度模糊要大于“罗莎”台风, 同时这一时刻“碧利斯”台风生成风暴单体要强于“罗莎”台风, 相应的形成的降水也要强于后者。

## 5.3 垂直积分液态含水量

通过垂直积分液态含水量可以观测到地域上空所包含的降水量, 同时也间接地反映了当时的降雨强度。台风引起的强降雨中心, 在它上空的垂直积分液态含水量一般都大于 20 kg/m<sup>2</sup>。因此可以用垂直积分液态含水量来跟踪台风强降雨中心。

“碧利斯”和“罗莎”台风影响乐清时, 各有一中小尺度的强风暴, “碧利斯”台风的强风暴其最强降雨中心垂直积分液态含水量最大值在 40 kg/m<sup>2</sup>, 是其他强降雨中心的 2 倍(图 6a)。“罗莎”台风强风暴对应的强降雨中心其垂直积分液态含水量值要小得多, 最大的只有 25 kg/m<sup>2</sup>(图 6b)。相对应当时的降水量, 在“碧利斯”台风中的这个风暴每小时达 20~30 mm, “罗莎”台风中的风暴每小时只有 10~20 mm。

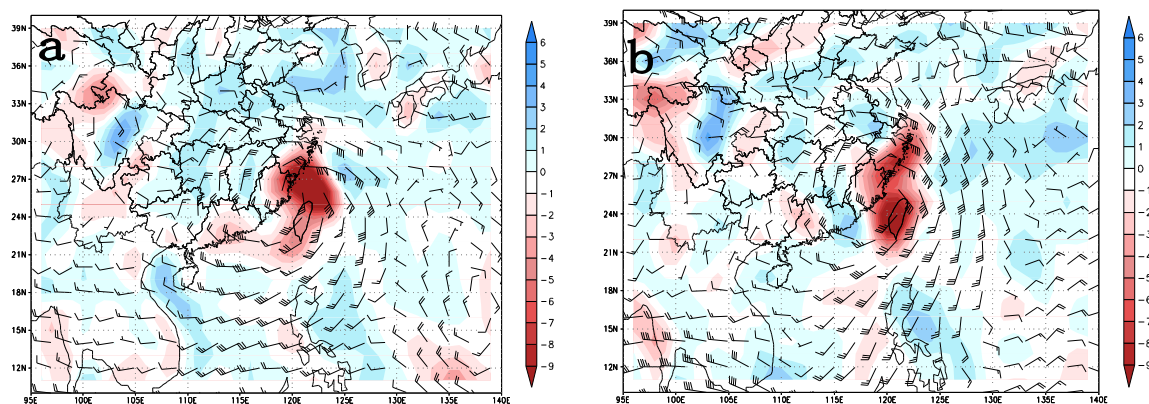


图3 “海棠”(a)和“凤凰”(b)台风850 hPa水汽通量散度对比 单位:  $10^{-7} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ 。

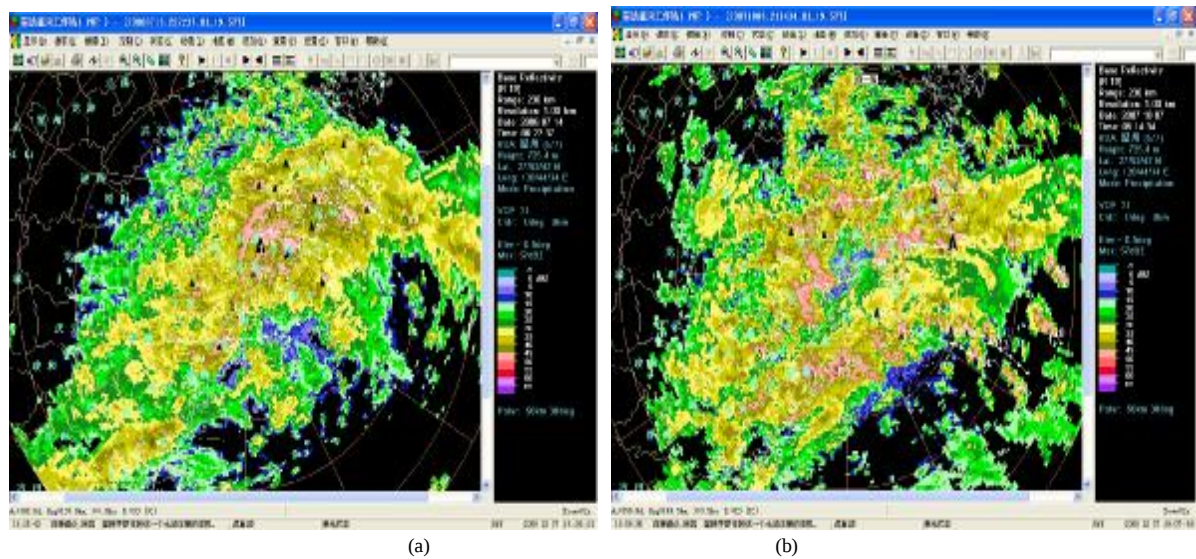


图 4 基本反射率 a. 2006 年 7 月 14 日 6 时 22 分基本反射率; b. 2007 年 10 月 7 日 5 时 14 分。  
白色线条表示风暴跟踪信息, 黑色三角表示冰雹指数。

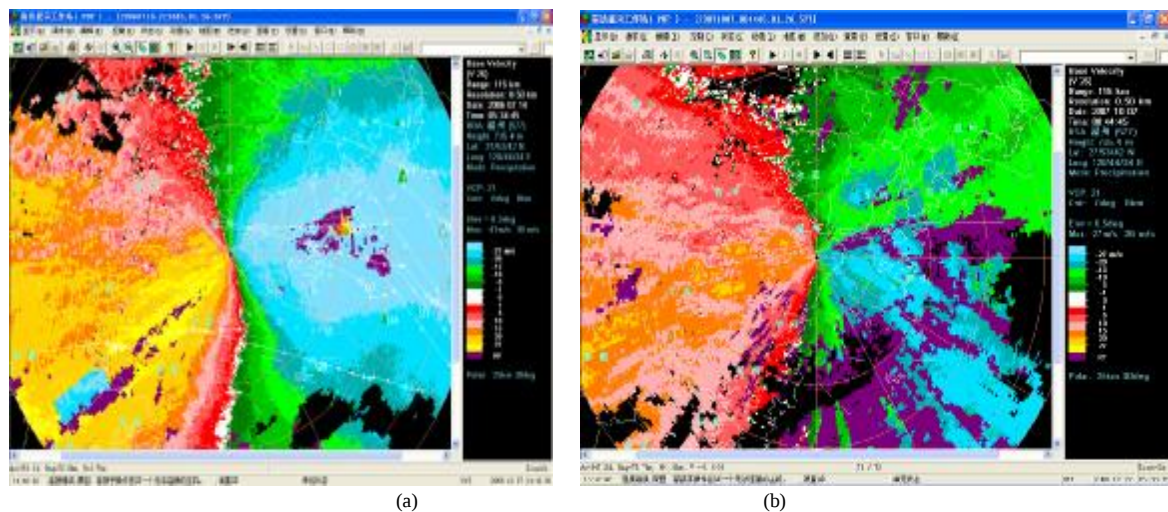


图 5 基本速度 a. 2006 年 7 月 14 日 05 时 34 分; b. 2007 年 10 月 7 日 08 时 44 分。  
白色线条表示风暴跟踪信息, 绿色三角表示冰雹指数。

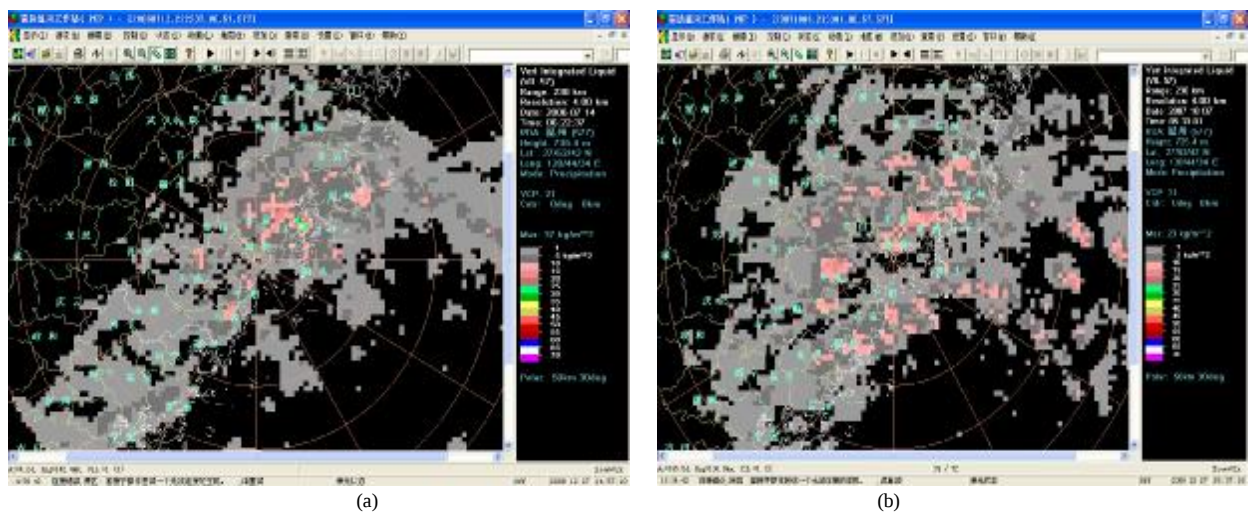


图 6 垂直积分液态含水量 a. 2006 年 7 月 14 日 6 时 22 分; b. 2007 年 10 月 7 日 5 时 33 分。

## 6 小 结

乐清四中型水库库区的大暴雨是在有利的大尺度环流背景下, 不断有中小尺度系统的发生发展而产生。大暴雨主要由登陆浙闽的台风造成, 极少数由西风带系统造成。

低空急流是水库大暴雨最重要的触发机制之一, 为大暴雨的形成和维持提供了充沛的水汽和能量供给。水库位于东北-西南向的雁荡山区, 遇东或东南急流时, 受地形的强迫抬升作用, 水库雨量会进一步加大。

强烈的低空强辐合和高空辐散以及旺盛的上升运动为水库大暴雨的发生发展提供了有利的动力条件。水库降水强度和落区与其上空的低空辐合、上升运动, 水汽通量辐合以及低空急流有较好的对应关系。

台风强降水出现在台风螺旋雨带或者台风眼周围的密闭云团中的强降雨中心内。利用新一代天气雷达的基本反射率叠加风暴跟踪信息和冰雹指数, 结合基本速度和垂直积分液态含水量来跟踪强降雨中心, 对水库大暴雨的监测和预警有重要意义。

## 参 考 文 献:

- [1] 丁一汇. 高等天气学(第二版)[M]. 北京: 气象出版社, 2005: 443.
- [2] 金步圣, 等. 两个相似路径台风天气差异分析[J]. 气象科学, 1999, 19(2): 197-198.
- [3] 曹春燕, 江笠, 孙向明. 一次大暴雨过程低空急流脉动与强降水关系分析[J]. 气象, 2006, 32(6): 104-106.
- [4] 金巍, 曲岩, 等. 一次大暴雨过程中低空急流演变与强降水的关系[J]. 气象, 2007(12): 34-38.
- [5] 刘爱鸣, 刘铭, 林毅. 低空急流对 0212 号台风“北冕”后部暴雨影响的分析和数值试验[J]. 台湾海峡, 2004, 23(1): 2-3.
- [6] 苗爱梅, 李玉书. 低空急流与山西大暴雨[J]. 山西气象, 1994(2): 7-11.
- [7] 徐远波, 尹恒, 赵世黎, 等. 湖北十堰“05.8”台风倒槽特大暴雨的多尺度分析[J]. 暴雨灾害, 2008, 27(1): 50-53.
- [8] 郑沛群, 范爱芬, 董美莹, 等. “2004. 1109”深秋大暴雨过程分析[J]. 科技通报, 2007, 23(1): 29-30.
- [9] 施望芝, 毛以伟, 湛伟, 等. 台风“云娜”降水云区中单站大暴雨诊断分析和预报[J]. 暴雨灾害, 2007, 26: 46-51.
- [10] 陆汉城. 中尺度天气原理和预报学[M]. 北京: 气象出版社, 2000: 60-65, 200-210.
- [11] LEMON L R. The radar “three-body scatter spike”: An operational large-hail signature[J]. Wea Forecasting, 1998, 13: 327-340.
- [12] DOSWELL C A III. Severe convective storms[J]. Meteor Monogr, 2001, 69: 561.

## THE TORRENTIAL RAIN ANALYSES OF YUEQING RESERVOIRS

FAN Ai-fen, CHEN Lie, LOU Xiao-fen, ZHENG Pei-qun, PENG Xia-yun

(Zhejiang Provincial Meteorological Observatory, Hangzhou 310017, China)

**Abstract:** Torrential Rain can directly lead to flooding of Yueqing reservoirs. NCEP global re-analysis data, routine data, Radar data and ground medium-scale automatic observation data are used to analyze the occurring and developing mechanism of Yueqing reservoirs' torrential rains from 2004 to 2008. The torrential rains over the reservoirs occur in the favorable large scale circulation background with the development of meso- and micro- scale weather systems. The main affecting systems include landfall typhoon, low-level jet stream and west trough. Physical quantity diagnoses show that low-level convergence and high-level divergence, strong rising, low-level jet stream and abundant water vapor supplies offer favorable dynamical condition for the torrential rain occurring and developing. The severe precipitation occurs in strong rain centers within typhoon spiral rain belts or thick clouds near typhoon eye. Typhoon's strong rain centers are tracked by following basic reflectivity, storm tracking information and hailstorm index, combined with basic velocity and vertical integrate liquid water, which has significance to the supervising and forecasting of reservoirs heavy precipitation.

**Key words:** torrential rain; landfall typhoon; low-level jet stream; west trough; physics quantum diagnoses; basic reflectivity; storm tracking information; hail stone index