

气候暖化对台湾水文环境的冲击

汪中和

(中央研究院 地球科学研究所, 台北南港 11529)

摘要: 自十九世纪中期起就开始发展的全球暖化现象, 已使北半球平均气温上升的幅度接近摄氏一度。而伴随全球暖化的结果之一就是全球气候及水文循环正在急速的改变, 各地降雨的强度及分布型态因应气温的上升及气候极端变化而有明显的变化。以台湾地区为例, 回顾百年来台湾降雨型态的变化趋势, 讨论气候暖化对近五十年来台湾水文环境(地表水、地下水)所造成的影响。其中最显著的趋势为: 南北降雨的差异性扩大, 降雨型态朝极端化发展。这些变化趋势对未来水资源的调配与运用产生不利的影响。

关键词: 气候暖化; 台湾; 水文环境

中图分类号: P46

文献标识码: A

文章编号: 1009-0312(2006)04-0074-06

0 引言

工业革命后, 温室气体(二氧化碳、氧化亚氮、甲烷和氟氯碳化物)大量排放到大气层, 导致地球表面温度持续暖化, 北半球平均气温上升的幅度接近摄氏一度^[1], 对地球生态环境产生深远的影响。随着京都议定书在2005年2月16日开始生效, 宣示国际主流已经不再漠视地球环境恶化的事实, 并且开始共同努力挽救地球脆弱的生态环境^[2]。因此, 当前这个世纪是人类对抗全球气候暖化冲击的关键时刻, 尤其气候暖化对水文环境的影响, 将直接冲击水资源的运用及社会的稳定。

台湾自1897年以后即开始有制度化的气象观测, 迄今已累积了107年的记录^[3], 其中时间长且较完整的有: 彭佳屿、台北、台中、澎湖、台南、恒春、花莲、台东等八个气象站。本文简略地报告过去百年来, 因自然气候及人为开发的影响, 台湾降雨型态正演变中的一些长期趋势, 以及对水资源管理及调配的冲击; 掌握这些趋势, 进而能采取适当的对策, 以舒缓并扭转当前及未来不利的情势。

1 台湾长期降雨纪录

降雨是台湾最主要的维生命脉, 它的丰枯及强度变化直接地影响着岛上的生态环境及生活质量。台湾位在欧亚大陆及太平洋的交界处, 独特的地理位置加上季风、台风及周围海流的交互影响, 使台湾的降雨一直有着复杂的变化型态^[4, 5]。

中央气象局目前在台湾本岛设有21个气象观测站(图1), 除了苏澳、梧栖及嘉义三个站设立较晚外, 其余的观测站均在1940年代或更早都已设置完竣, 因此本文主要讨论自1940年至2005年的雨量变化记录。由于台湾约79%雨量集中于每年的五至十月, 因此在观察季节性分布时, 将年雨量分为丰雨期(五至十月)及贫雨期(十一月至翌年四月)来讨论。在讨论台湾岛上区域性分布时, 我们依据水利署的水资源分区及水文特性^[6], 将台湾分为北区、西南区及东南区。

1.1 南北降雨量的区域差异性扩大

图2是台湾降雨量的长期变化图, 由上至下的顺序为: 全台湾平均、北区、西南区、东南区。各图以1940-2005年的平均值作为基准(数值标志于各图中), 各年度与基准值间的差异以距平图表示, 大于平均值的年份在基准线的上方(即正值), 小于平均值的年份在基准线的下方(即负

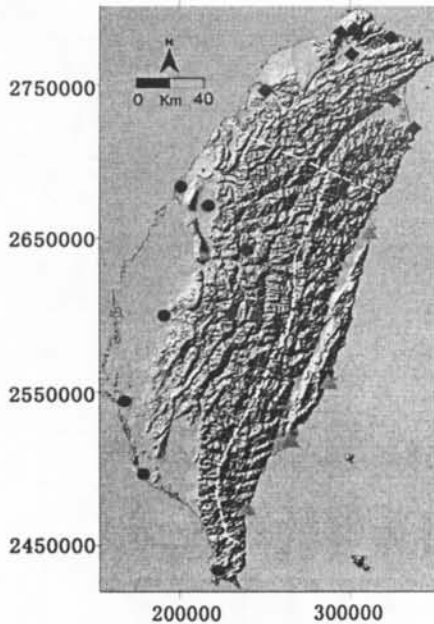


图1 中央气象局在台湾本岛设有21个气象观测站，依据水利署的水资源分区及台湾气候特性，将其区分为北区（菱形）西南区（圆形）及东南区（三角形）

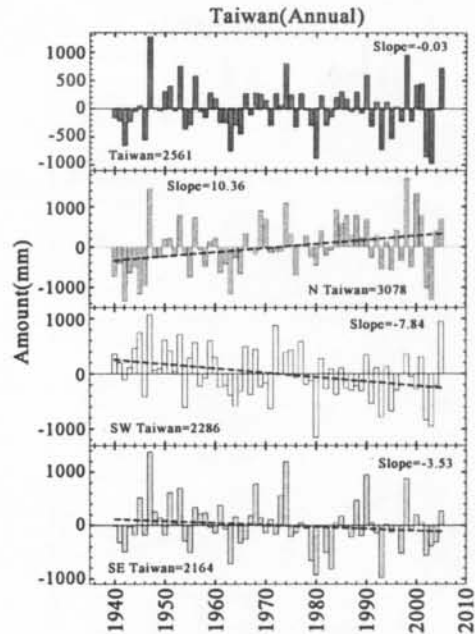


图2 台湾及各分区雨量自1940年至2005年长期变化图，线性回归虚线表示长期变化的趋势。由上至下的顺序为：全台湾平均、区、西南区、东南区。

值)；图中线性回归虚线代表长期变化的趋势，回归的斜率值也标示于各图内。由图2可以观察出几项特点：

台湾地区的年际雨量变化非常大，从降雨量最多的1947年(3841mm)，至最少的2003年(1577mm)，高低相差达2264mm，很接近于六十年的平均值(2561mm)，显现出台湾降雨量的高度变异性。

虽然台湾年际雨量变化起伏大，但1940年代以来，台湾整体平均年雨量的长期变化却没有明显趋势。然而若分区来观察，北区及西南区却有清楚且方向相反的降雨量趋势：北区长期的趋势是增加的；西南区却是减少的。台湾东南部也呈现略为减少的态势。由观测站的分布位置观察，一条隐形的干湿分隔水文线正在沿着新竹及花莲之间形成，北侧降雨量逐渐增多，南侧则逐渐减少，表示台湾南北降雨量的差距正朝趋于扩大的方向恶化，是台湾水资源管理最大的隐忧。推测这个现象与全球暖化加剧，北半球的降雨带正向高纬度地区移动高度相关^[2, 7]。

1.2 全岛降雨日数逐渐减少

图3是台湾降雨日数的长期变化图，表示的方法与图2相同。评估一个地区水资源的优劣，与降雨量直接相关的就是降雨日数。在相同降雨量的条件下，降雨日数的多寡与洪涝—干旱及水资源调配有密切的关系。关于台湾长期的平均年降雨日数变化，由图2也可与降雨量一样观察出几项特点：

台湾地区的平均年降雨日数是157日，年际降雨日数的变化也非常大，从降雨日数最多的1947年(有195日)，至最少的2003年(只有117日)，高低相差达79日，也就是年降雨日数最大的差距可达两个半月。

整个台湾的平均降雨日数自1940至2005年间的长期变化是持续递减，与降雨量的变化形态显然不同。以区域而言，降雨日数在西南部及东南部都是明显且快速的减少中，北部地区则较和缓。换言之，台湾的降雨日数是从北至南，从东至西，正在全面的减少中，这是严重的警讯。尤其1990年以后，西南部及东南部地区的降雨日数都低于六十年平均值。

降雨日数持续降低的原因有待进一步研究，推测由于近数十年来，由于空气污染及内蒙沙尘暴的影响，台湾及东亚地区空气悬浮微粒大幅的增加，大气中的水份被大量分散，导致区域性降雨机制改变，使得降雨日数不断减少^[8, 9]。

1.3 降雨强度日趋升高

图4是台湾降雨强度的长期变化图，表示的方法亦与图2相同。由于整个台湾地区降雨量长期看

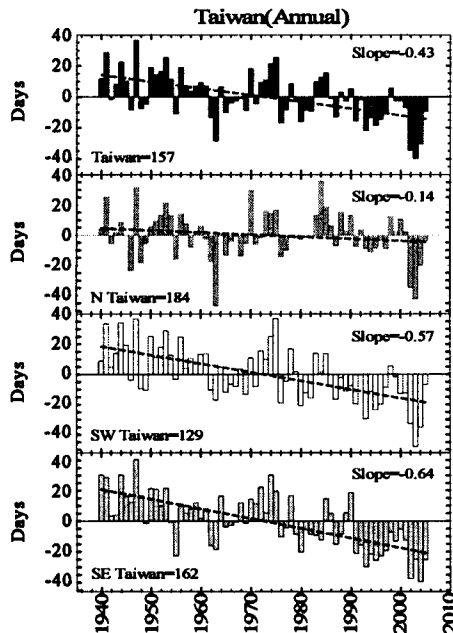


图3 台湾及各分区年降雨日数自1940年至2005年长期变化图, 线性回归虚线表示长期变化的趋势。由上至下的顺序为: 全台湾平均、北区、西南区、东南区。

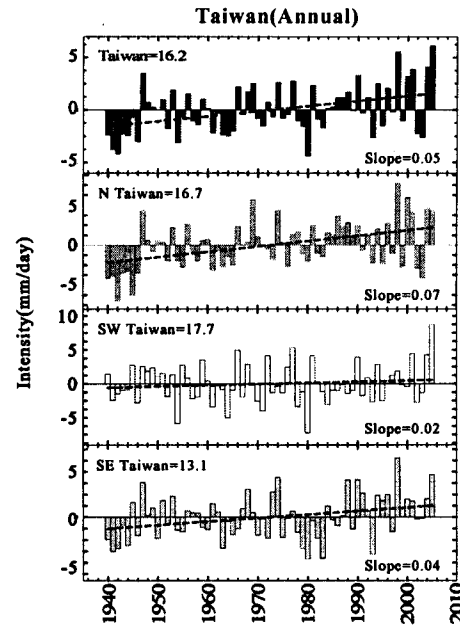


图4 台湾及各分区降雨强度1940年至2005年长期变化图, 线性回归虚线表示长期变化的趋势。由上至下的顺序为: 全台湾平均、北区、西南区、东南区。

来并未有显著的降低趋势, 但降雨日数却持续地减少, 因此【降雨量 / 降雨日数】比值, 也就是降雨强度 (单位时间的降雨量; mm/day) 的长期变化趋势, 就非常值得注意。从图4的台湾的平均年降雨强度变化可观察出几项要点:

台湾地区的平均年降雨强度是16.2mm/day, 降雨强度最大的是2005年(22.4mm/day), 最小的是1980年(11.8mm/day)。1940年代初期降雨强度较低, 是台湾水文变化相对和缓的时期。此后年际变化幅度便呈现逐渐扩大的情形, 表示台湾的水文变化正朝极端性高的不利方向发展。

整个台湾的平均降雨强度自1940至2005年间的长期变化是明显的持续递增, 与降雨日数的变化型态刚好相反。以区域而言, 降雨强度在北部及东南部都是明显且快速的增加中, 尤其北部地区的增加率约是东南部的2倍。西南部地区虽然降雨量及降雨日数长期以来同步递减, 但降雨强度却没有减少的态势。

依降雨期来观察, 台湾整体呈现的是丰雨期强度较大, 贫雨期强度只有丰雨期的一半, 说明丰雨期是台湾发生洪涝的主要时期。以区域来说, 北区的降雨强度在丰雨期不但风险高且增加的速率也快, 是台湾未来防治洪涝的优先警戒区。西南区虽然没有长期增加的趋势, 但是丰雨期的降雨强度一向是台湾最高的, 仍要防范洪涝的发生。东南部地区丰雨期的降雨强度也不断增高, 同样值得注意。

2 长期不利的降雨趋势对水资源造成冲击

除了60年来的降雨数据外, 我们也可以由百年的气象数据, 来印证在全球气候暖化的影响下, 台湾的降雨型态或是降雨强度所产生的重大改变。图5是台湾百年来的年均温及年雨量距平变化图。这是利用中央气象局有百年记录的八个气象站的年均温及年雨量所合成绘制, 并做了5年的滑动平均消除高频信号, 以表现台湾一个世纪来的温度与雨量变化特性。图5中的温度及雨量都以百年平均值为基准 (温度平均值是23.1°C, 雨量是1807mm), 凡低于平均值的都是负值, 位在黑色虚线的下方; 而高于平均值的都是正值, 位于黑色虚线的上方。

由图5可以看出, 台湾过去一百年的年均温增加了摄氏1度以上, 暖化现象相当明显, 主要原因就是全球温室效应及区域性人为开发的影响。然而台湾的降雨量在这段气候暖化的过程中, 却呈现了两种型态完全不同的变化。在二十世纪的前半期(1900~1950年), 台湾的年均温绝大部分低于百

年平均值，这个时期台湾降雨的变化型态是变化幅度小，且呈逐步增加的趋势，大致可以说是风调雨顺的年代。迈过1950年，台湾的年均温急剧上升，绝大部分高于百年平均值；这个时期台湾降雨变化所呈现的是上下大幅震荡，降雨量增加的趋势消失，正如同前段60年降雨记录所显示的情形。

另一项不利的情形是气象干旱期的发生，在二十世纪前后期也有十分不同的频率。在1950年以前，只在1900年代后期发生一次低雨量的干旱期；然而在1950年以后，却反复发生了四次：1960年代中期，1980年前后期，1990年代初期，以及2000年代初期。这些现象的观察，都指出气候暖化确实对台湾的降雨造成显著且不利的影响^[9]。这些不利的趋势是否已经对台湾的水资源造成影响与伤害呢？从水资源五十年来的使用记录及近期的气候变化两部份来讨论，答案是肯定的。

2.1 地表水引用量减少

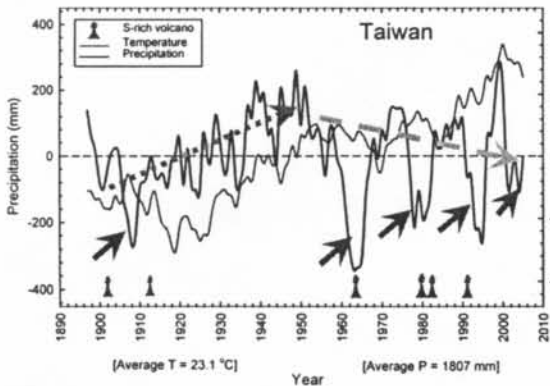


图5 台湾自1900至2005年温度及降雨量长期变化图。虚线代表基准值（温度 = 23.1度，雨量 = 1807 mm），虚线箭头分别表示降雨量在二十世纪前后两个时期的趋势，实线箭头表示干旱发生期。

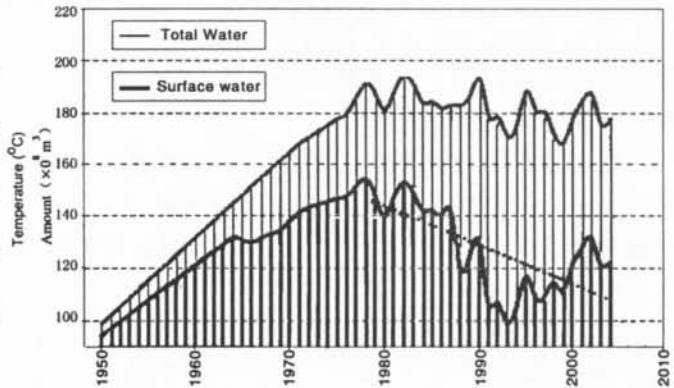


图6 台湾自1950至2004年地表水及总用水量增长图。细实线代表总用水量，粗实线是地表水引用的水量，点线表示地表水引用下降的趋势。

图6是台湾自1950年至2004年的用水量成长曲线图。图中的细实线代表总用水量，粗实线是地表水引用的水量，中间的细直线区就是地下水的部分。本图特别将90亿吨以下的部分省略，以方便读者作细节的审视。该图可以观察到，台湾年用水量自1950年的98亿吨，逐渐成长到1982年的194亿吨，之后略微下降，但大体上维持在每年供水180亿吨左右的范围。另一方面，地表水所占的比例，由1950年的94亿吨，也逐年成长到1978年的154亿吨。自此以后，地表水每年的汲用量就呈现减少趋势（如图中的点线所示）。至1993年时，因干旱的影响该年只能汲取到100亿吨，然后又慢慢回升到2004年的123亿吨，但仍与1978年的最高时期有31亿吨的差距。

台湾地表水引用量，占整体水资源的比例自1980年以来呈现降低的趋势，基本上反映了降雨量长期以来南北差异扩大及降雨日数全面降低的影响；加上近30年来河川因人为污染严重^[10]，又进一步缩减可用的地表水量，造成了近20年来台湾地表水引用量无法按需求增长的困境。

2.2 地下水超限汲用

由于地表水的供应减少，地下水的抽取量就不得不大幅增加以因应各项标的用水的需求。图7显示台湾从1950年至2004年地下水的汲用量增长曲线，也就是图六中的细直线部分；图7中的水平细点线代表台湾地下水的自然年平均补注量（约40亿吨），也就是地下水汲用的安全界线。在1950年，地下水使用量只占年用水量的4%，之后随着用水需求的增加也逐年成长。到1980年，地下水的汲用量已经开始超越安全界线，达到22%。在1988年以后更呈现大幅超限汲用的情形，最严重的时期是1990年代的初期，每年抽取地下水约

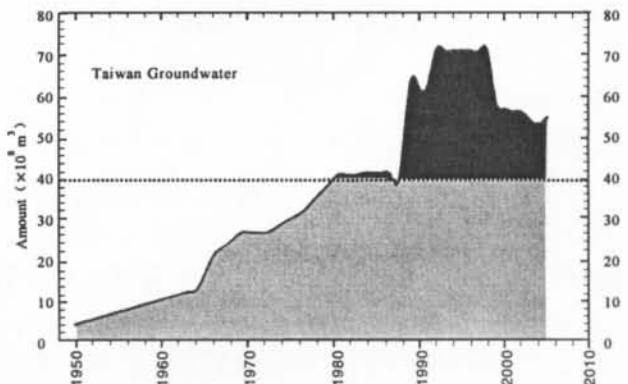


图7 台湾自1950至2004年地下水用水量增长图。水平细点线代表台湾地下水自然年平均补注量，也就是汲用的安全界线，黑色部分表示超限抽用的地下水水量。

70亿吨, 占年用水量的四成。近年来, 虽然政府尽力辅助减少地下水的抽取量, 但地下用水量仍然高达50多亿吨^[6, 11]。

由于西南部降雨量及降雨日数长期以来降幅最大, 地表水资源供应远远不符需求, 地下水超限区域也就都集中在抽取量最大的西南部。地下水资源长期透支下来, 已经产生出地下水位下降、沿海地区地层下陷、海水入侵、地下水水质恶化等许多问题^[12]。台湾地下水储量不断下降, 不得不面临一个严肃的问题: 地下水年年透支, 到底还可以支撑多久?

又例如2005年6月水患, 除了都市地区排水系统承受不住又急又大的降雨而淹水外, 从云林、嘉义、台南、高雄到屏东的淹水地区广达五百多平方公里, 大部分都位在超抽地下水的地层下陷区。三十年来, 台湾地层下陷累积的面积已达2600平方公里, 接近十个台北市的总和。地层下陷区平时就排水不良, 豪雨来时更是只进不出, 这些不只是永久性的国土损害, 也是地下水超限使用的后果。地下水对台湾水资源的贡献很大, 然而地下水长期超量使用却是台湾一个非常严重的危机。这个危机的形成, 除了水资源的管理不当外, 台湾长期降雨型态朝不利方向发展也是主要的原因。

2.3 水文变化日趋极端

气候暖化对台湾所带来的水文极端性升高的趋势, 将使台湾旱涝更频繁发生, 防灾工作也相对更棘手; 尤其以北部地区在丰雨期的风险最大, 当然也对水资源的管理更增困难。另一方面, 西南部虽然没有明显的增加趋势, 但其丰雨期先天偏高的降雨强度仍是需要特别加以防范的。

图8是台湾从1990年1月到2006年5月的月平均降雨量时序图。一般而言, 正常月平均降雨量的变化范围是在110到340mm之间, 若月平均降雨量大于380mm, 就表示有水患发生(如图8中的深灰色区); 而月平均降雨量低于100mm就会造成干旱(如图8中的浅灰色区)。观察15年来的降雨情形, 可以清楚地看出, 约有四成期间, 洪涝与干旱正在台湾反复的发生, 尤其是干旱发生的次数频繁, 这是以往十分少见的情况。

在图8中更值得注意的是, 1994年8月, 因有三个台风(凯特琳、道格、弗雷特)连续袭台, 使得该月的平均降雨量陡升到750mm, 约为正常变化上限的两倍; 而1998年10月, 有两个台风(瑞伯及芭比丝)连袂

侵袭北台湾, 该月的平均降雨量更高达900mm。然而更令人惊讶的是2001年9月的纳莉台风, 单单这一个台风就使得该月的平均降雨量超过了1000mm, 打破了百年来的历史记录。这三个超大豪雨的事件, 不但在短短数年间连续发生, 台风所带来的豪雨量更是一个强过一个。这些异常的事件发生, 正反映台湾降雨强度日趋增高的结果。

3 结语

联合国世界气象组织已经发出警讯: 在全球暖化过程中, 异常的高温、干旱、台风、豪雨、寒潮、暴风雪等, 都将在世界各地频繁地出现^[13]。展望未来, 全球气候暖化的趋势仍将持续升高, 对台湾是非常不利的警讯。由百年来降雨型态的变化趋势观察, 预期未来台湾“水资源的危机”一定会更形高升, 台湾的旱涝也将以更严重的频率及尺度发生。除了水资源供需将面临更大的困难, 需要尽速加强管理外, 防灾及救灾的工作也势必要迎接更大的挑战。面对这些外在不利情势的发展, 不论是台湾生态环境的保护, 国土及水资源的管理规划, 防灾工程设计的准则, 实在需要加紧脚步, 大刀阔斧地采取更有效的对策去因应, 将气候暖化所带来的冲击降到最低, 进而扭转劣势, 导引台湾迈向永续健康的方向去发展。

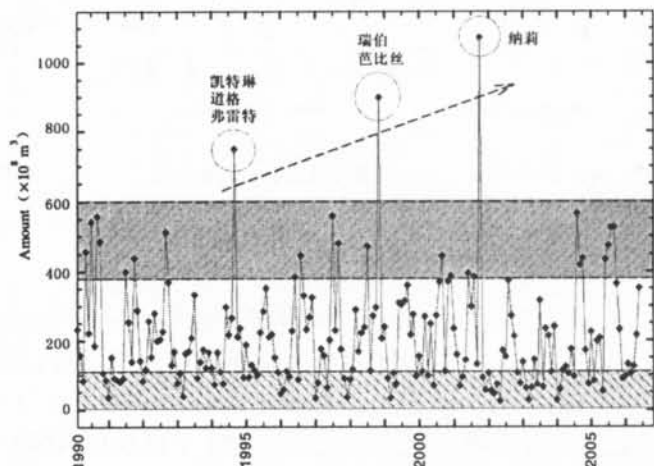


图8 台湾自1990年1月至2006年5月的月平均降雨量时序图。深灰色区域是高降雨水灾期, 浅灰色是低雨量干旱期。三个超大豪雨月份以圆圈显示, 虚线箭头表示近年超大豪雨的趋势。

参 考 文 献

- [1] United Nations. Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change [R]. 1998: 21.
- [2] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2001: Synthesis Report (Summary for Policymakers) [R]. 2001: 34.
- [3] 中央气象局. 1897-2005气候资料年报 [M]. 台北: 行政院交通部中央气象局. 2006.
- [4] 吴明进. 台湾的气候变化 [J]. 大气科学, 1992, 20(4): 295-318.
- [5] 中央气象局. 台湾地区气候变化之分析与评估 [M]. 台北: 交通部中央气象局, 1994.
- [6] 经济部水利署. 台湾水文年报 [M]. 台北: 行政院经济部水利署, 2004.
- [7] Houghton J T, Jenkins G J, Ephraums J J. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 1995: The Science of Climate Change. WMO/UNEP, Cambridge University Press [M]. UK: Cambridge, 1996.
- [8] Liu S C, Wang C H, Shiu C J, et al. Reduction in sunshine duration over Taiwan: causes and implications [J]. TAO, 2002, 13(4): 523-545.
- [9] Chang F C, Wang C H. Did sulfur-rich volcanic eruptions affect drought episodes in Taiwan? In: Water Resources Systems - Hydrological Risk, Management and Development, G. Blöchl, S. Franks, M. Kumagai, K. Musiak and D. Rosbjerg, Editors [J]. International Association of Hydrological Sciences, 2003(281): 148-157.
- [10] 行政院环境保护署. 环境白皮书八十七年版 [M]. 台北: 1998.
- [11] 经济部水资源统一规划委员会. 台湾地区之水资源 [M]. 台北: 1995.
- [12] 汪中和, 郭钦慧, 张凤娇. 台湾地下水文环境的变迁 [J]. 经济部中央地质调查所汇刊, 2004(17): 175-196.
- [13] World Meteorological Organization (WMO). Statement on the Status of the Global Climate in 2005 [R]. 2006: 12.

The Impacts of Global Warming on the Water Environment of Taiwan

WANG Zhong-he

(Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Nankang, Taipei Taiwan, 11529)

Abstract Global warming has been detected since the mid-19 Century and raised about one Celsius degree of surface temperature in the northern hemisphere. One of the consequences derived from global warming is the chaotic variations of climate and water cycle on the earth surface. Extreme weather events have been observed all over the world, particularly for the pattern and intensity of precipitation. This study takes Taiwan as a case to review its precipitation variations during the past century and discusses the impacts of global warming on the local water environment, both on surface and ground-waters. The salient features are: (1) the regional heterogeneity of precipitation between north and south becomes deteriorating; (2) the extremity of precipitation intensity is getting worse. These trends are very unfavorable for the long-term management and development of the water resources in Taiwan.

Keywords global warming; Taiwan; water environment