

沈阳市降水对水资源的影响及对策

张文兴¹ 姜晓艳¹ 张菁¹ 隋东¹ 孙福义²

(1. 沈阳市气象局, 辽宁 沈阳 110168; 2. 康平县气象局, 辽宁 康平 110500)

摘要:在分析沈阳近百年特别是近50 a降水变化规律的基础上,研究了沈阳市降水对水资源的影响。结果表明:沈阳市降水量变化决定水资源变化,自1956年以来水资源总量呈减少趋势,且随着年降水量的变化而变化;地下水变化平缓;地表水资源变化速度比降水变化速度快。同时降水量对辽、浑河的自然径流量影响显著,年际变化剧烈;近10 a沈阳降水量呈减少趋势,将加剧沈阳水资源短缺的矛盾。在对气候进行预估的基础上对水资源的发展趋势进行了预估。

关键词:降水量;水资源;径流量;地下水;对策

中图分类号:P426 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-503X(2009)03-0024-06

1 引言

水资源是基础性自然资源,是战略性的经济资源。沈阳是一个重度缺水城市,人均年水资源仅为 344 m^3 ,远低于全国人均 $2\ 200\text{ m}^3$ 的水平^[1]。随着经济社会的快速发展和人口的增加,对水资源的需求量也大幅提升,致使水资源短缺愈加严重。而近年来由气候变暖所引发的少雨干旱则进一步加剧了沈阳市水资源供需紧张的矛盾。

从现代气候系统概念看,水资源首先是气候系统五大圈层(大气圈、水圈、冰川圈、生态圈和地壳圈)相互作用的结果^[2]。降水对水资源的影响是气候变化研究的重要组成部分,国内气象和水文学者从不同角度进行分析和研究。刘春葵^[3]、李青春等^[4]认为:气候变化,特别是降水的气候变化对水循环更替期长短、水量、水质等产生重大影响,对水资源的变化起着决定性作用;杨绚等^[5]在分析中国614个气象台站1974—2006年降水量资料的基础上,得出了近50 a东北、华北和河套地区干旱明显加重的结论;王遵娅等^[6]指出:20世纪90年代以后,华北、东北大部地区夏季降水显著减少;井涌^[7]、许新宜^[8]、刘洪林^[9]从水资源的变化及对策、节水型社会建设与水资源未来趋势宏观估测等方面作了大量工作。归结起来主要是三方面问题:一是降水变化规律对水资源的物理、水文有决定性影响及其对降水和水资源的预估;二是估算由气候变化产生的水资源量变化,对原来存在的水资源的压力将增加还是减少;三是人类如何应对由于人口增长、经济社会发

展、生态系统对水资源需求的增加以及气候变化所带来的影响这两方面的压力。本文从近百年尤其是近50 a沈阳降水量的变化特征入手,研究降水与水资源的关系、降水对河流的影响以及对未来降水和水资源趋势的预估,力求找到应对目前沈阳市水资源环境的对策。

2 资料与方法

本文水资源资料均由沈阳水利部门所提供,其中2001—2007年的地表水、地下水和水资源总量来自于每年的《沈阳市水资源公报》,1956—2000年水资源平均值和河流径流量来自于沈阳市水利局“沈阳市水资源”评价成果报告。

地表水是指河流、湖泊和冰川等由当地降水产生的可以逐年更新的动态水量,即天然河川径流量。地下水是指埋藏相对较浅,储存于地表面以下岩土空隙中的饱和重力水,并与大气降水和地表水体有直接水力联系,参与水循环且可以更新、又与当地潜水具有较密切水力联系的弱承压水组成的浅层地下水(不含井灌回补补给量)。而水资源总量是指当地降水形成的地表和地下产水量,即地表径流量(河川径流量与河川基流量之差值)与降水入渗补给量之和^[1]。

降水量分别给出了水文降水量和气象降水量。其中,水利部门提供的降水量是以立方米为计量单位的,为统一均折算为mm。在分析降水与水资源关系时,气象降水量采用的是沈阳地区5个气象站的观测平均值。沈阳近百年降水数据采用沈阳观象台

收稿日期:2008-09-09;修订日期:2008-10-24。

基金项目:沈阳市政协“水资源专项研究课题”项目资助。

作者简介:张文兴,男,1950年生,高级工程师,主要从事短期气候预测、气候变化研究。

通信作者:姜晓艳,E-mail:syjxy@163.com。

资料。水文部门的降水量值比气象部门降水量值偏少 20—50 mm,但变化趋势一致。

3 结果分析

3.1 沈阳近百年来降水变化的气候特征

图 1 为 1906—2005 年沈阳年降水量距平百分率

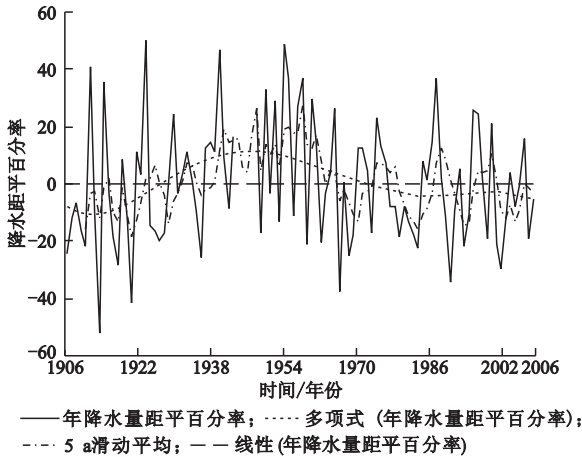


图 1 1906—2005 年沈阳降水距平百分率变化曲线

变化曲线。从图 1 可以看出,20 世纪 30—50 年代

降水量偏多,且 50 年代降水量最多,降水量距平百分率为 15.9%;20 世纪初至 50 年代末期降水量逐渐增多,每 10 a 上升幅度为 5%—10%;60 年代降水量明显下降,与前 10 a 相比下降了 20.5%;20 世纪 70 年代和 90 年代降水量有所回升,但仅接近历史平均值。进入 21 世纪以后,降水量减少趋势愈加明显。

采用沙道夫干湿指数(综合降水和温度因素)划分旱涝等级^[10],对长度为 95 a 的降水和气温资料进行统计:大早有 10 a,分别为 1917、1919、1920、1950、1952、1981、1988、1997、1999 年和 2000 年,20 世纪 90 年代末期大旱出现频率较高。大涝有 9 a,其中 20 世纪 50—60 年代占 5 a。偏早有 15 a,偏涝 20 a,正常 41 a。由此可见,近 10 a 来大旱出现频率在增加,大涝出现频率在减少,沈阳降水量呈减少趋势。

上述分析表明,1956—2007 年降水量与 1906—1955 年降水量相比为减少趋势,50 a 递减率为 2.0%。对 1956—2007 年沈阳观象台降水资料进行标准化处理(图 2)后可以看出,1956 年以来沈阳降水量呈波动下降趋势^[11],共分为 8 个阶段(表 1)。

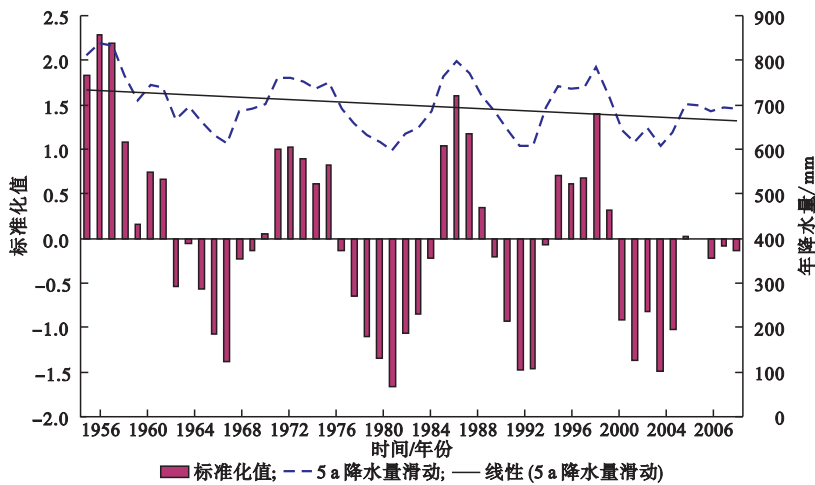


图 2 1956—2007 年沈阳降水量标准化直方图

表 1 1956—2007 年沈阳降水阶段统计

| 多雨段 | | | 少雨段 | | |
|-----------|-------|---------|-----------|-------|---------|
| 年份段 | 长度 /a | 平均降水/mm | 年份段 | 长度 /a | 平均降水/mm |
| 1956—1964 | 9 | 783.5 | 1965—1968 | 4 | 569.7 |
| 1969—1975 | 7 | 766.7 | 1976—1982 | 7 | 613.1 |
| 1983—1987 | 5 | 796.7 | 1988—1993 | 6 | 597.2 |
| 1994—1998 | 5 | 784.1 | 1999—2007 | 9 | 649.1 |
| 多雨年平均 | - | 782.8 | 少雨年平均 | - | 607.3 |

对各个阶段进行 t 检验,结果表明,前 7 个阶段的子序列前后两段间均通过 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验,只有第 7 和第 8 个子序列间的 t 检验差异不显著。这说明无论从多雨到少雨还是从少雨到多雨,

降水周期差异显著,近 50 a 来沈阳年降水量在总趋势下降的过程中,存在着明显的阶段性变化。这种阶段性变化是年代际气候变率的表现形式。但近 10 a 降水的阶段转换不明显,而表现为年际间的震荡。

3.2 降水量与水资源总量的关系

3.2.1 水资源与降水变化趋势

沈阳市水资源各项参数是随着年降水量的变化而变化,其上升和下降趋势是一致的,但 2004 年例外,这是由于当年降水的地区分布极不均匀所造成的,并未改变总体趋势(图 3)。从表 2 可以看出,1980—2000 年平均水资源量少于 1956—1979 年平均水资源量,与降水量的变化趋势相一致,说明降水量是制约水资源量的最主要因素。

3.2.2 近50 a水资源总量变化

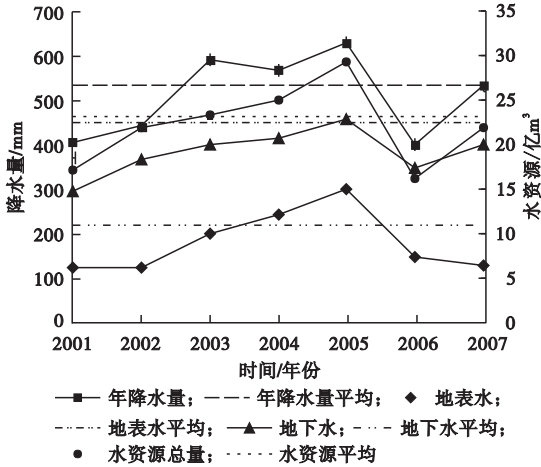


图3 沈阳地区降水量与水资源变化曲线

从表2还可以看出,1980—2000年地表水与水资源总量的年平均相比,1956—1979年分别减少了805万m³/a和2055万m³/a,而2001—2007年的7a中有5a低于历史平均值,负距平平均为15% ,

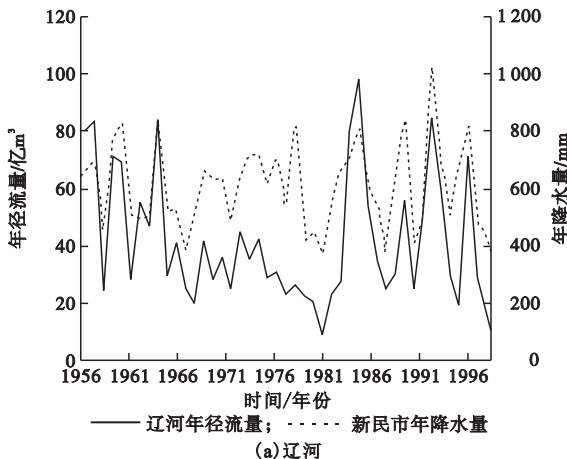
表2 1956—2007年沈阳水资源和降水量统计

| 年份 | 1956—1979 | 1980—2000 | 1956—2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2001—2007 |
|-------|-----------|-----------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| 地表水 | 11.0597 | 10.9792 | 11.0221 | 6.20 | 6.26 | 9.96 | 12.07 | 14.96 | 7.31 | 6.54 | 9.043 |
| 地下水 | - | 22.5302 | - | 14.65 | 18.31 | 19.95 | 20.68 | 22.86 | 17.33 | 19.97 | 19.107 |
| 水资源总量 | 23.6549 | 23.4494 | 23.5590 | 17.24 | 21.84 | 23.38 | 24.96 | 29.28 | 16.26 | 21.85 | 22.116 |
| 水文降水量 | 599.9 | 597.8 | 598.9 | 404.2 | 445.0 | 589.0 | 566.0 | 628.0 | 400.8 | 478.0 | 501.6 |
| 气象降水量 | 624.0 | 616.4 | 620.5 | 449.9 | 521.3 | 604.3 | 590.5 | 697.6 | 437.6 | 528.8 | 547.1 |

的影响,其计算结果表明,水资源总量变化基本上是降水量变化的两倍。这与沈阳地表水的变化结果相吻合。

3.3 降水量对辽河和浑河径流量的影响

辽河、浑河是流经沈阳的两大主要水系,在沈阳流经面积为7692.6 km²,占沈阳总面积的59%,构



近些年份水资源呈减少的趋势较为显著。

3.2.3 地下水年际变化

地下水资源是构成水资源总量的主要部分,降水量的入渗是构成地下水的主要来源。从2001年以来地下水资源的变化来看,其地下水变化幅度小于地表水,也小于降水量。但对降水的依附程度在水资源的几项组成参数中最高,与降水变化趋势最接近。地下水是水资源中的地下储水库,其年际变化的相对稳定对沈阳经济发展和民生均很重要。

3.2.4 地表水变化

进入2001年以来,地表水变率明显大于降水(表2),尤其是当降水量增减幅度较大时,其地表水的变率则更加显著。2003年和2005年年降水量比前1a分别增加了24%和15%,而地表水比前1a分别增加了59%和24%,2006年年降水量较前1a减少了37%,而地表水减少了51%,说明地表水的变化速度比降水的变化速度快。对此,李青春^[4]应用统计评估模型研究了降水量对华北地区夏季水资源

表2 1956—2007年沈阳水资源和降水量统计

成了地表水的主要组成部分。本文利用水文部门实测径流值推算出的天然径流量,分析降水量对辽河、浑河径流量的影响。

3.3.1 年降水量对河径流量的影响

图4为辽河和浑河河流年径流量与沈阳年降水量关系曲线。从图4可以看出,辽河和浑河河流自

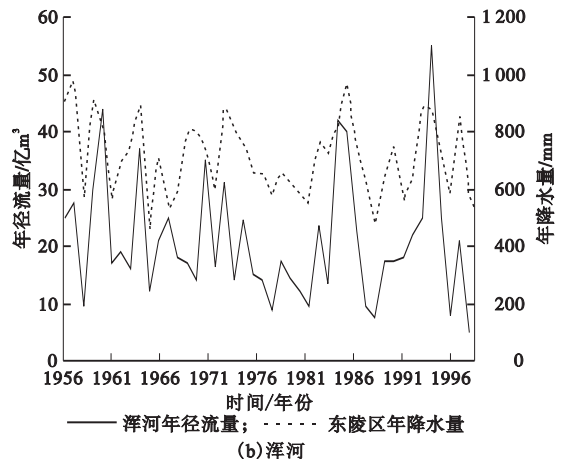


图4 辽河和浑河年径流量与沈阳年降水量变化曲线

然径流量与所在地(代表站:新民、东陵)年降水量波

动起伏有着较好的对应关系,通过了0.001信度检

验,辽河相关系数为 0.694,浑河相关系数为 0.689。采用距平值检验,正负距平是一致的,辽河在 45 a 资料中有 32 a 相一致,拟合率为 71.1%,浑河在 44 a 资料中有 36 a 相一致,拟合率为 81.8%。这些数据说明,辽河和浑河自然径流量与降水量关系密切,降水量决定辽河和浑河的自然径流量^[12]。

对一个地区而言,由于不是河流的全流域,受上游径流量和降水量影响,本地降水对河径流量的影响不是唯一的因素。相关系数计算结果表明,有 20%—30% 的年份降水量与河径流量呈反相关。例如河流径流量较大、但降水量较小的年份有:辽河 1962、1963 年和 1993 年,浑河 1967 年和 1993 年;降水量较大而河流径流量较小的年份有:辽河 1971、1974、1977、1979、1984 年和 1997 年,浑河 1963、1969、1970、1974、1984 年和 1991 年。此外,辽、浑两条河流径流量也并非一致,44 a 中有 8 a 呈反相关。辽河和浑河流域面积很大,流经 3 个省,总流域面积为 205 251 km²,其上游流域面积占总流域面积的 40% 或以上。在如此大流域范围内,降水的分布是极不均匀的,且不完全在一个气候带和天气系统控制之内,上下游降水不均造成这种反相关的主要原因。

3.3.2 径流量的年际变化

从图 4 还可以看出,辽河和浑河的年际变化剧烈。其中,辽河(巨流河)最大径流量出现在 1986 年,为 $988\ 241 \times 10^4 \text{ m}^3$,最小径流量出现在 1982 年,为 $75\ 632 \times 10^4 \text{ m}^3$,最大年径流量是最小年径流量的 13.1 倍;浑河(沈阳)最大径流量出现在 1995 年,为 $552\ 197 \times 10^4 \text{ m}^3$,最小径流量出现在 2000 年,为 $53\ 070 \times 10^4 \text{ m}^3$,最大年径流量是最小年径流量的 10.4 倍^[1]。而对应同期的年降水量,辽河新民最大降水量出现在 1994 年,为 1 013 mm;最小出现在 1982 年,为 363 mm;最大值是最小值的 2.8 倍。浑河沈阳观象台最大降水量出现在 1957 年,为 970 mm;最小出现在 1965 年,为 445 mm;最大值是最小值的 2.2 倍。因此,辽河和浑河的径流量年际变化比同期的降水变化更加剧烈。

用辽河和浑河代表站近 40 a 枯水和丰水年的 9 个不同时段年径流量与降水距平百分率进行对比分析(表 3),结果表明:在枯水时当降水减少 14% 时,径流量减少 40% 左右;在丰水时当降水增加 20% 时,则径流量增加 60% 左右。这说明,河流对降水的响应最为敏感。计算 1956—2000 年沈阳市降水量和径流量变差系数(CV)分别为 0.22—0.25 和 0.60—0.80,也说明年径流量比降水量变化更为剧烈^[1]。

3.4 水资源发展趋势预估

表 3 辽河和浑河代表站各年份段径流量和降水量距平百分率对比 %

| 项目 | 年份段 | 辽河(新民) | | 浑河(沈阳) | |
|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | 年径流量距平百分率 | 年降水量距平百分率 | 年径流量距平百分率 | 年降水量距平百分率 |
| 枯水年 | 1961—1962 | -31.7 | -17.0 | -10.0 | -11.1 |
| | 1976—1984 | -39.0 | -6.2 | -25.0 | -8.7 |
| | 1988—1990 | -36.6 | -14.5 | -50.0 | -17.5 |
| | 1996—1997 | -39.0 | -3.0 | -50.0 | -8.0 |
| | 1999—2000 | -70.7 | -24.9 | -70.0 | -24.4 |
| 丰水年 | 1953—1957 | 70.7 | 11.9 | 30.0 | 33.3 |
| | 1963—1964 | 65.9 | 8.4 | 35.0 | 16.2 |
| | 1985—1987 | 82.9 | 16.4 | 75.0 | 18.8 |
| | 1994—1995 | 70.7 | 40.9 | 90.0 | 26.2 |

对水资源趋势进行预估,国内外学者进行了大量的研究,有的学者侧重于降水气候自身的变化研究和预估,有的学者是从河流径流量的变化规律阈值进行分析研究,多数研究成果认为,由于旱涝的变率大,水资源的不确定性因素很多也很难预估^[3]。赵宗慈等^[13]则在 IPCC 第四次科学评估报告中,通过考虑人类排放情景的多个气候模式计算后认为,中国东北地区到 21 世纪后期 2080—2099 年相对于 1980—1999 年,年降水量可能增加 50—150 mm,降水强度可能增加,干旱日数可能减少,径流量将可能略增。

沈阳近百年降水资料和 500 a 旱涝史料^[14]分析结果认为,目前沈阳处在降水偏少的周期阶段内。各种研究和资料分析都表明,持续近 10 a 的少雨阶段再维持 5—10 a 后,将转入一个相对多雨阶段或周期内,同时认为气候变暖对气温而言是一种长时期的上升趋势,而降水是在多和少、旱和涝的不断交替中波动变化。另外,随着节能减排和生态环境的逐步改善,气候会按自身发展的变化规律运行。据此推论水资源未来变化趋势,在排除人为因素影响后,预估在未来 5—10 a 内水资源情况将更加严峻,5—10 a 后随着气候进入多雨阶段水资源将有所增加。

4 水资源短缺的对策

由人类活动所引发的气候变暖造成沈阳水资源的短缺已既成事实。沈阳市的水利工程逐渐完善,水资源的开发利用已经达到了上限,水资源的利用量已经接近了水资源的可利用量。因此,水资源短

缺将在相当长的时期内成为制约沈阳城市可持续发展的重要因素,应引起相关部门高度重视并寻求科学可行的对策。

4.1 加快调水工程进度

根据沈阳水利部门“十一五”规划对未来5—15 a需水量的预测,在实现规划的重点供水工程,如大伙房输水二期工程和石佛寺水库供水水源工程完成后,沈阳市水资源供需基本平衡。这是在假定正常气候条件下,依据水资源多年平均值基础上所作出的预测,并未更多考虑如果继续少雨干旱而应该采取的有效措施。因此,首先要加快水资源开发进度,作为解决沈阳水资源短缺的主要途径或根本之策,引水工程是当务之急。而目前沈阳市应做好引水之后的城市配套工作,对市内超期运行近60%的地下水网管道进行逐步改造,以此为契机逐步取消城市地下水开采,全面提升水质和维持地下水平衡。

4.2 增加水资源途径

无论在未完成调水工程之前或完成之后,都需开辟新的水资源途径,以提升其经济社会发展对水资源需求的保障能力:一是加大资金投入,通过蓄水、提水、人工增雨和引水工程建设,增加境内雨水资源调蓄能力,使本区雨水资源得到充分利用;二是合理地开发利用沈阳地下水资源,本着“在保护中开发、在开发中保护”的原则,合理调控境内地下水,杜绝超采现象;三是切实推进污水资源化和中水利用,提高污水处理率和回用率;四是大力发展以节水灌溉为重点的设施农业建设,降低农业用水量。

4.3 提高水资源管理水平

水资源是可再生资源,但不是取之不尽,用之不竭的。在一个气候单元(30 a)的时间尺度内,如果需水量超出了水资源的可再生量,将出现不安全的水资源供给,将引发一系列的环境、社会问题^[3]。沈阳的水资源开发已经接近水资源自然条件的底线,必须加强水资源管理,走节水型社会发展的道路,统筹安排城乡发展、区域发展、统筹经济社会发展、人与自然和谐发展对水资源的需求,不断提高水资源利用效率和效益。各级政府应通过立法程序,依法治水,依法用水;统一管理空中水、地表水、地下水;加强节水宣传,形成良好的节水社会氛围,增强节水意识。

4.4 加快生态城市建设

沈阳市正在推进生态城市建设。水资源作为一个生态经济复合系统,土地、水、森林、湿地和气候等都是该系统的重要组成,是一个综合平衡体,他们相互作用,各自扮演重要角色,而水资源是构成生态环境的控制性要素,其他因子是起着涵养和滋润水资

源的作用。因此,综合全面治理水资源,首先应从土地管理上要划分好土地开发类别,要治理好水土流失地区;二是继续植树造林,退耕还林还草,增加绿色植被覆盖率,解决沙化问题;三是采取措施保护好湿地;最后是全社会关注的节能减排,应对气候变化问题。

5 结论与讨论

(1) 近百年特别是近50 a沈阳降水量呈现波动式减少的趋势,存在明显的阶段性,年代际和年际变化剧烈,近10 a沈阳降水量呈减少趋势。

(2) 降水量决定水资源总量变化,自1956年以来水资源的变化呈减少趋势,与降水量的变化趋势相一致。但地表水的变化速度快于降水量,而地下水的年际变化较平缓 and 稳定。

(3) 年降水量与辽河和浑河自然径流量关系密切,决定辽河和浑河的自然径流量,河径流量的变化比降水量变化更为剧烈。

(4) 在预估降水气候变化的基础上,对水资源的未来趋势进行分析,认为未来5—10 a以后,随着降水量的增多水资源总量也相应增加。

(5) 提出了解决水资源短缺的对策。当前最主要的就是要加快引水工程进度,确保水资源供需平衡,构建节水型社会。

(6) 水资源不仅与降水量关系密切,同时还受气温、蒸发等气象因素制约。因篇幅所限,其他气象要素对水资源的影响研究将另文加以阐述。

参考文献

- [1] 沈阳市水利局. 沈阳市水资源[M]. 沈阳:东北大学出版社,2007.
- [2] 廖启成. 地球科学概论[M]. 北京:气象出版社,2001:46.
- [3] 刘春蓁. 气候变化与水资源//气候变化与生态环境研讨会文集[M]. 北京:气象出版社,2004:100-106.
- [4] 李青春,崔继良. 北京地区气候变化对水资源影响分析//气候变化与生态环境研讨会文集[M]. 北京:气象出版社,2004:345-351.
- [5] 杨绚,李栋梁. 中国干旱气候分区及其降水量变化特征[J]. 干旱气象,2008,26(2):17-24.
- [6] 王遵亚,丁一汇,何金海,等. 近50年来中国气候变化特征的再分析[J]. 气象学报,2004,62(2):228-236.
- [7] 井涌. 近50年陕西省水资源变化情势及对策[J]. 中国水利,2008(7):44-46.
- [8] 许新宜. 关于节水型社会建设的几点认识[J]. 中国水利,2005(1):38-39.
- [9] 刘洪林. 辽宁西北区水资源短缺问题分析及解决途径

- [J]. 农业科技与装备,2008,175(2):14-16.
- [10] 赵春雨,曲晓波,王颖,等. 辽宁气候变化及若干气象灾害的事实分析[J]. 灾害学,2007,22(4):77-80.
- [11] 张凯,娄德君,潘静,等. 1957—2000年沈阳地区气温和降水变化特征分析[J]. 气象与环境学报,2006,22(6):38-39.
- [12] 王江山. 青海省生态环境监测系统[M]. 北京:气象出版社,2004:210-214.
- [13] 赵宗慈,罗勇. 21世纪中国东北地区气候变化预估[J]. 气象与环境学报,2007,23(3):3-5.
- [14] 张文兴. 沈阳500年旱涝演变规律分析[J]. 辽宁气象,2001(4):16-19.

Effects of precipitation on water resources and its countermeasures in Shenyang, China

ZHANG Wen-xing¹ JIANG Xiao-yan¹ ZHANG Jing¹ SUI Dong¹ SUN Fu-yi²

(1. Shenyang Meteorological Bureau, Shenyang 110168, China; 2. Kangping Meteorological Bureau, Kangping 110500, China)

Abstract: Based on the precipitation variation during the recent hundred years in Shenyang, especially in the last five decades, the effects of precipitation on water resources were analyzed. The results show that the change of water resources is influenced by precipitation. Water resources gross decreases since 1956, and it changes with precipitation. The groundwater resources change gently. The change speed of the surface water resources is larger than that of precipitation. At the same time, the effects of precipitation on natural runoff in both Liaohe River and Hunhe River are obvious, whose inter-annual changes are strong. Precipitation decreases during recent decade in Shenyang, which will intensify the shortage of water resources. Finally, the trend of water resources is predicted based on the climatic prediction.

Key words: Precipitation; Water resources; Runoff; Groundwater; Countermeasures