内容摘要

在全球变暖大背景下，中国西北地区主要是西部、中部气候自19世纪小冰期结束后（约为19世纪60～80年代）至20世纪80年代，基本上处于向暖干化发展：气温上升、降水偏少、河川径流减少、湖泊萎缩、生态环境恶化构成了过去100多年来西北地区气候环境变化的总情势。1987年西北西中部气候出现向暖湿转型的突变。

20世纪80年代以来，气温上升的势头更加强烈，1987～2000年西北地区气温较1961～1986年平均升高了0.7℃，90年代是近1000年最暖的时期，与60、70和80年代相比，分别偏高0.8℃、0.7℃和0.5℃。然而，伴随气温加速上升的同时，降水量和冰川融水量普遍增加，而且增加势头强劲。1987～2000年降水平均值与1961～1986年相比较，新疆的北疆增加了22%，南疆增加了33%，天山增加了12%，祁连山区与河西走廊中西部及青海高原的部分地区平均增加幅度在10%～20%之间。冰川融水增加以天山乌鲁木齐河1号冰川为例，1985～2001年平均年融水量较1958～1985年增加84.2%但西北东部地区仍处于暖干气候影响之下，同期降水量减少了5%～15%，干旱事件频发。

在降水增加区，相应的水文与生态环境也发生了明显改变。新疆大多数河流、甘肃河西祁连山中西部、青海柴达木盆地东南部的河流从1987年开始，径流量呈增加趋势，增幅（1987～2000年与1956～1986年相比较）均超过5%，大部分地区增幅在20以上，最大达40%。博斯腾湖、艾比湖、艾丁湖等受降水显著增加影响的内陆湖泊，1987年以来湖水位持续快速上升，其中博斯腾湖水位1987～2000年间上升了近4.5 m，超过50年代最高水位。宽

需要全本请访问 www.ertongbook.com

浅的艾比湖面积到2002年已由1987年的499 km^2扩大到1064 km^2，恢复到了1957年的水平，若将湖区上游农业用水还原，其湖水面积可能达到20世纪初期的1300 km^2左右。随着暴雨增加和气温升高，洪水灾害也频繁发生，1987、1996、1999和2002年新疆均发生了有记录以来最严重的洪水灾害，其中1996年洪水损失惨重，占新疆经济总产值7%。气候转向暖湿的利弊相比，利大于弊，新疆1987～2000年出山口年水资源量比1956～1986年增加7%，约为62.1×10^8 $m^3\cdot a^{-1}$。降水显著增加地区，尤其是新疆西部和北部地区，植被指数也明显增加。结合大风日数的减少，我国北方尤其是新疆和甘肃河西地区沙尘暴发生日数亦急剧减少。

上述迹象表明，我国西北以受西风环流影响为主体的地区气候正在发生由暖干向暖湿转型的趋势，这种转变以山区降水量和冰川融水量增加明显超过蒸发量，使河川径流量明显增加、内陆湖泊水位大幅度上升为标志，影响及山前地区和河流下游，可利用的水资源增加，洪水事件频数增强、植被覆盖度明显提高、沙尘暴趋于减少。通过综合评估这些气候转型信号，可把西北地区目前的气候变化分为三个区域，即*显著转型区（出现显著变湿）*：降水、冰川融水量、河川径流、洪水灾害显著增加，湖泊水位上升，植被改善，沙尘暴减少。主要为新疆北部、天山及两侧地带、塔里木盆地西侧、叶尔羌河下游、祁连山及其北侧中西段、柴达木盆地东南侧，西界进入中亚国家，但现有资料少，不足以确定其具体范围；*轻度转型区（出现变湿趋势）*：降水有所增加但不足以提高地表产流，植被有局部改善或尚未改善。主要为塔克拉玛干大沙漠、新疆东部与甘肃西缘荒漠区、柴达木盆地内部等地区，由于所在地区极端干旱，实际蒸发很小，估计在将来降水不可能大幅增加；*未转型区（持续*

暖干区)：西北地区东部大部分地区和中部个别区域。 90 年代仍处于少降水期。

影响气候转型的原因是复杂的，通过对空中水汽输送和大气环流的分析，认为西北地区受多种环流形势影响，尤其是新疆地区，受来自大西洋和北冰洋的西风气流影响较大；但 80和 90年代空中水汽含量明显增加，主要由于全球强烈变暖促使南方热带海洋水汽向北输送的结果。西北地区高空风场的变化表明，近年来西北地区西部有利于南方来的水汽增强，而东部北风增强削弱了来自东南方向的水汽输送，这可能是造成西北地区西湿东干的主要原因。

通过数值模拟、统计预测、自然周期分析及古气候相似对比推测，我们认为西北目前的气候转向暖湿很可能是世纪性的，期间可能出现年代际的逆向波动，但其将表现为新的暖湿水平上的波动。在空间上，预期西北地区东部的干旱有可能很快结束，并向暖湿转变，到 2050 年整个西北地区可能均达到丰水期。但上述推测有较大的不确定性。

西北地区气候转型的推测一旦成立，其对各方面的影响将是深远而巨大的。从现在起就应未雨绸缪，不可能坐等全部事实发生才来应对。为此建议应加强对山区水文、气象、冰川的监测，加强对湖泊和生态的遥感监测；进一步加强对西北地区气候环境变化的深入研究；适应转型变化，趋利除弊，改善塔里木河、黑河等下游生态环境；增强流域意识，提高水资源利用水平。应抓紧时机，大力建设生态环境，特别应兴建若干山区水库，增加蓄洪量，减轻洪水灾害，并努力提高山区水能利用率。

1 前 言

我国西北地区主要由内陆河流域干旱区和黄河流域半干旱地区组成。西北干旱内陆河流域地区深居内陆，四周又有高山阻挡，海洋潮湿气流难以到达，因而形成我国最干旱的地区。与地球上其他干旱地带不同，我国西北干旱区内分布着若干高大山系，对水汽的拦截和抬升作用使得山区降水较多，形成干旱区中的“湿岛”，高山上发育了众多的冰川和积雪，山区分布着高山草垫、草原和水源涵养林，发育于山区的河流，在山前平原又形成了大片绿洲，然后或消散于荒漠戈壁，或流入尾闾内陆湖泊。西北干旱区由若干分散并相对独立的内陆河流域组成，其水循环特征表现为山区降水量大于蒸发量，山前平原盆地蒸发量大于降水量。山区降水量一部分以冰川和积雪的形式储存下来，山区形成的径流流到山前平原盆地，一部分以地下水形式储存下来，还有一部分则是以湖泊和水库的形式储存下来，其余部分则全部耗散于蒸发。西北干旱区的水资源存在并耗散于区域性水循环的动态过程中。西北干旱区农业持续发展和生态环境保护的核心问题是水，水在区域性

水循环中的运动和转化规律，全球变化和人类活动对区域性水循环和水平衡的影响制约着水资源可利用量和变化趋势，制约着生态环境的演变，从而制约着地区经济的持续发展。

当前全球变暖日益显著，深刻地影响人民生活和生产活动，而全球变暖驱动的复杂的水循环变化，可能导致近十几年来西北大部分地区气候环境悄然发生重大变化，出现了降水与径流增加，冰川消融加速，湖泊水位上升，大风与沙尘暴日数减少，植被有所改善等现象。针对这些现象，研究者捕捉到了这些现象之间的关联，并提出了西北气候可能正由暖干向暖湿转型的科学推断（施雅风等， 2002）。这一问题的提出不仅在学术上、而且对我国西部生态环境与社会经济等诸多方面均具有重大的现实意义和深远的战略意义，需要认真和审慎对待。尤其是这些现象在时间上是暂时的、还是有可能发展为长期的、在空间上是局部的还是趋于向全局性演变，目前还不甚清楚。为此，在中国科学院和中国气象局的高度重视下，中国科学院寒区旱区环境与工程研究所在新疆进行调研的基础上，联合新疆、甘肃、青海的水文、气象和相关的科研部门等 10 家单位代表于 2002 年 9 月 6～11 日在兰州举行研讨会，对近期有关

需要全本请访问 www.ertongbook.com

气候、环境变化事实、特征、原因与未来发展趋势开展了深入讨论，基本认同了西北气候由暖干向暖湿转型的假设，在此基础上撰写了报告并经若干特邀专家审阅后修改定稿，供中央、地方和有关专业部门参考，不妥之处，敬请批评指正。

2　中国西北气候由暖干向暖湿转型问题的提出

2.1　20 世纪的暖干气候回顾

本文所说的气候向暖湿转型是承继前 100 年左右时间即小冰期结束以后气候波动变暖变干特征提出的。据冰川与树木年轮和气候相关资料，19 世纪小冰期至 20 世纪 80 年代，乌鲁木齐河源天山中段和祁连山东段分别升温 1.3℃和 1.0℃,而年降水量减少 50～65 mm 和 70～85 mm(王宗太，1991)；1920～1978 年间北疆降水低于近 350 年来平均值达 -11.8%,降水变化曲线如图 2.1（Yuan Yujiang *et al*，2001)。

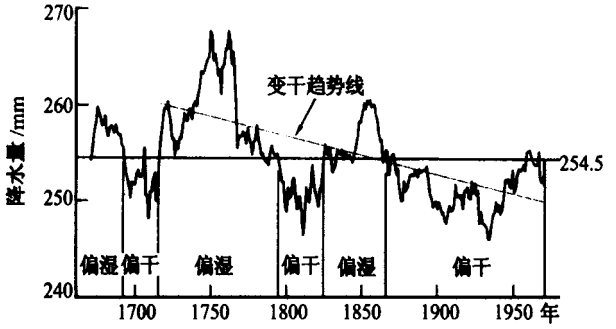


图 2.1 乌鲁木齐地区天山北坡树轮指示 18～20 世纪 7 月至 2月降水 50 年滑动平均曲线（Yuan Yujiang *et al*，2001）

20世纪上半期，西北气象台站很少，难于以点概貌，统观全局。据王绍武（1994）编制的1880～1991年中国年平均气温距平变化，20世纪10年代气温由谷低迅速上升，1940年代出现峰值，平均气温上升了0.8℃左右，1960～1970年代出现新的低谷。伴随着气温上升，干旱化现象也频频出现，尤其是在这次升温的前期出现极严重旱灾，其发生于1928～1929年前后，使西北东部的陕、甘、宁、青和内蒙古5省区及以西的河西张掖等地灾民达3.4×10^7人，死亡2×10^6~3×10^6人。气候背景是连续数十年的少雨阶段，黄河出现1922～1932年连续11年的枯水段，其在陕县的平均径流量仅为多年平均值的70%（图2.2，徐国昌等，1997）。青海湖水位于1908至1957年间从海拔3205 m降到海拔3197 m，平均下降速率为17.2 $cm\cdot a^{-1}$，远大于1957~1981年间的11 $cm\cdot a^{-1}$。天山西段吉尔吉斯斯坦境内的伊赛克湖水位1910～1950年间下降速率为8 $cm\cdot a^{-1}$，大于1950～1980年间的4.2 $cm\cdot a^{-1}$，均指明20世纪上半期干旱化趋势的严重（施雅风，1990）。

20世纪50年代起，中国西部增建了许多气象、水文台站，可以根据实测记录讨论变化趋势。图2.3指示了中国西部1951～1999年温度上升趋势，线性增温率在0.2℃ • $(10a)^{-1}$，特别是80年代后期至90年代升温迅速。根据所选取的73

处水文、气象站点计算，近 50 年来，新疆北部升温 1.8℃，南部升温 1.0℃（苏宏超等，2003）。

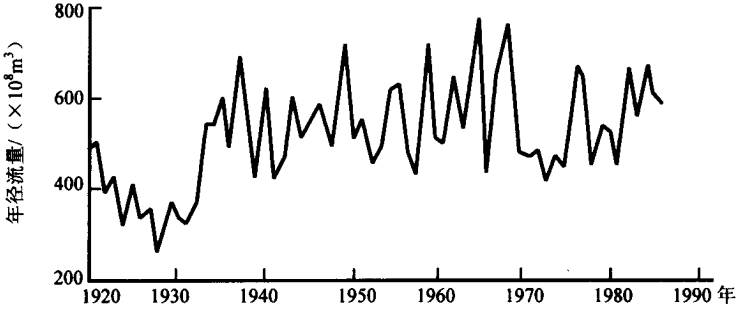


图 2.2 黄河陕县站 1920～1990年径流量曲线(史辅成等， 1991)

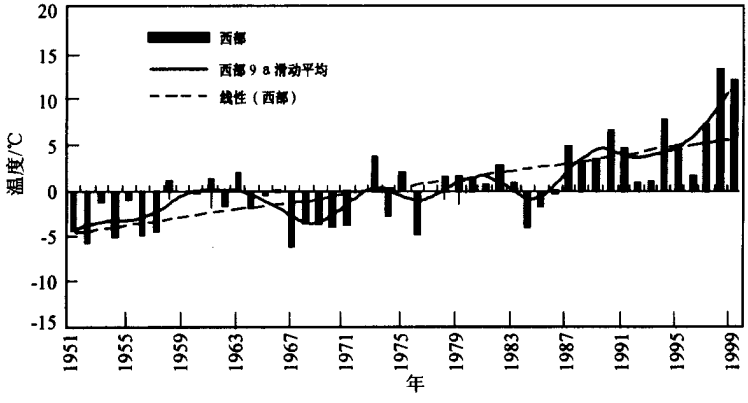


图 2.3 中国西部 1951~1999 年升温趋势（王绍武等，2002）

20 世纪 50 年代至 80 年代新疆和华北均呈现显明的降水减少趋势，但西北东部不明显（陈隆勋等， 1991）。降水的空间变化较为复杂，为了更好地了解降水变化的过程，引用对西北 53 条河流出山径流变化的分析结果（赖祖铭，1995），可说明 1950 年代以来降水变化情形（图 2.4）。由图 2.4 可以看出，由 50～80 年代，西北径流总体上显示波动下降趋势，而在 1987 年以后径流开始显示出增加迹象，限于当时的资料年限，以后的变化情景没能给出。图 2.4 中所示的西北 53 条河径流量峰值在 1955～1959 年达到 673×10^8 m^3，而至 1975～1979 年谷值降为 627.3×10^8 m^3，前后比较，后者较前者减少了 7%，这一过程经历了 20 年左右，同时期西北较重要的内流湖泊除天山西段海拔较高的赛里木湖外，无不趋向快速萎缩，有的干涸消亡（表

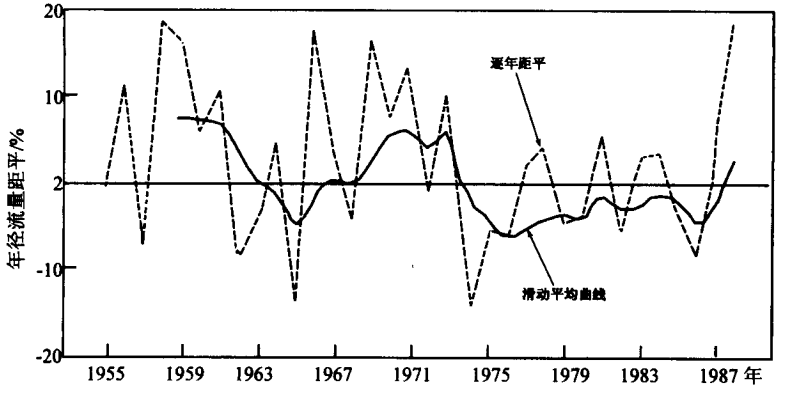


图 2.4 1950s～1980s 西北河流呈现波动下降趋势（赖祖铭， 1995）

2.1）其原因包括气候暖干化和人为灌溉用水大幅度增加的双重影响（王树基，1989）。例如，青海湖 1958～1990 年水位下降 2.34 m，经过较详细的水量平衡计算表明，认为主要是由于流域降水减少（丁永建等，1995）、气候暖干化使蒸发量超过湖面降水量与入湖径流量所致（施雅风等，1990），而人为用水增加只相当于亏损额的 27%(王洪道等，1995)。

表 2.1 西北主要湖泊 50～80 年代面积变化（王洪道等，1995）

湖泊名称	50 年代 / km^2	80 年代 / km^2	资 料 来 源
艾比湖	1070	500	1987 年 9 月卫星相片
布伦扎海	835	765	1987 年实测
玛纳斯湖	550	0	1962 年稍后干涸（周聿超等，1999）
巴里坤湖	140	90	1988 年卫星相片
赛里木湖	454	457	1986 年 7 月卫星照片
博斯腾湖	996	864	1986 年实测
艾丁湖	124	0	
罗布泊		0	1964 年前后干涸
台特马湖		0	1972 年前后干涸
嘎顺诺尔（西居延海）		0	1970 年代干涸
苏果诺尔（东居延海）			1990 年代干涸
青海湖	4568	4304	1986 年航空照片

需要全本请访问 www.ertongbook.com

20 世纪早期升温，由于当时 CO_2 等温室气体排放量少，可看作是小冰期结束以后的自然振荡。在 20～40年代快速升温的前期，出现了 1929 年左右的特大旱灾，其正好发生在 Bradley 等（1987）指出的北半球少雨期，1940 年代升温峰值后，降水量转向增加，1950 年代为降水量高值期，60 年代又出现新的降温和干旱。严中伟等（1990）指出，这期间降水量减少幅度在 20%以上，干旱带从北非萨赫勒（Sahel）经印度西北部、中国至日本的一个宽阔带状地域，此带南北各有一降水增加带。上述气候情景构成了 20 世纪西北地区和中国北部暖干化的基本特征。施雅风（1990）曾粗略猜度，暖干化趋势可能延至 21 世纪上半期结束，但随着时间的推移，我国西北地区西部大部分地区气候环境已经悄然发生了重大变化。

2.2 向暖湿转型信号的认知

胡汝骥等(2002a，b)指出天山中部的博斯腾湖，在有记录以来连续 30 多年水位下降萎缩之后，1987～2000 年间水位上升 3.5 m，超过 1956 年水位。而 2002 年 8 月博斯腾湖水位更高达海拔 1049.26 m，超过有器测以来最高水位（1958 年）1 m（图 2.5），湖面积也扩大到 1000 km^2 以上。考虑到近湖焉耆盆地的大量灌溉用水和该湖每年尚

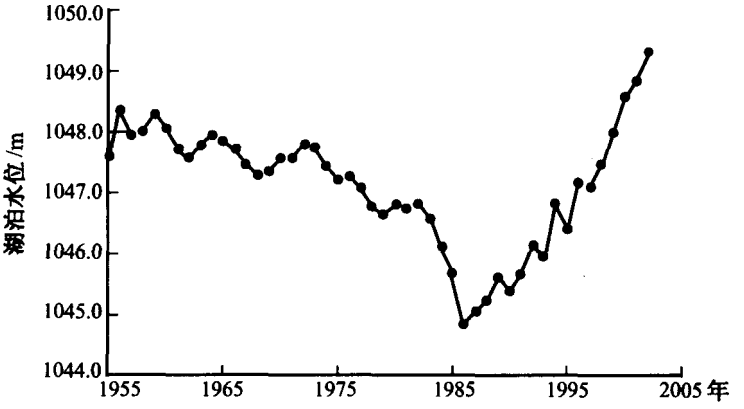


图2.5　新疆天山中部博斯腾湖水位变化

需经他什店扬水站输水约 $4.5\times10^8\,m^3$ 补给孔雀河与塔里木河，可确认湖泊的水量平衡与气候环境已发生质的变化，即入湖的降水量、径流量显著地超过湖面蒸发量、径流输出量和灌溉用水量。另外，作为博斯腾湖主要补给源的开都河，其大山口站径流量自 1987 年开始出现明显的增加，已由 1986 年的 $24.7\times10^8\,m^3$，增加至 2000 年的 $49.7\times10^8\,m^3$（图 2.6），其反映可直接作为博斯腾湖流域主要补给源的山区降水和冰雪融水大幅度增加的重要征兆（韩萍等，2003；李宇安等，2003）。博斯腾湖区连续 15 年未见衰减的水位快速上升指示山区水文环境发生了重大变化，这个

信息首先为作者判别为气候在 10～100 年时间尺度由暖干向暖湿转型的突变信号。

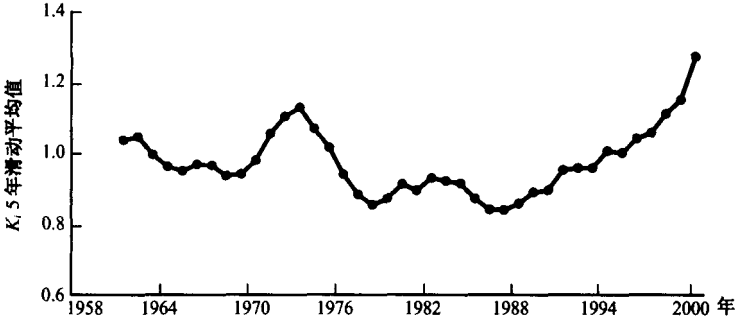


图 2.6　开都河大山口站年径流量模比系数 5年滑动平均值变化

（张国威等，2003）

姜逢清等（2002）对新疆洪旱灾害的研究及其所编制新疆 1950～1997 年农田洪水灾害增长趋势图（图 2.7），指明 50～70 年代受灾面积为 4.28×10^4～5.22×10^4 hm^2，而 80～90 年代猛增至 28.45×10^4 hm^2 和 36.47×10^4 hm^2。而 1987 年也是洪水灾害猛增的转折点，洪水灾害主要由山区洪水加剧和突发暴雨形成，其急剧增加，反映气候转向暖湿的天气变化特征。这一事例也被认为是气候转型的辅助信号，并将 1987 年定为由暖干向暖湿转型的突变点。

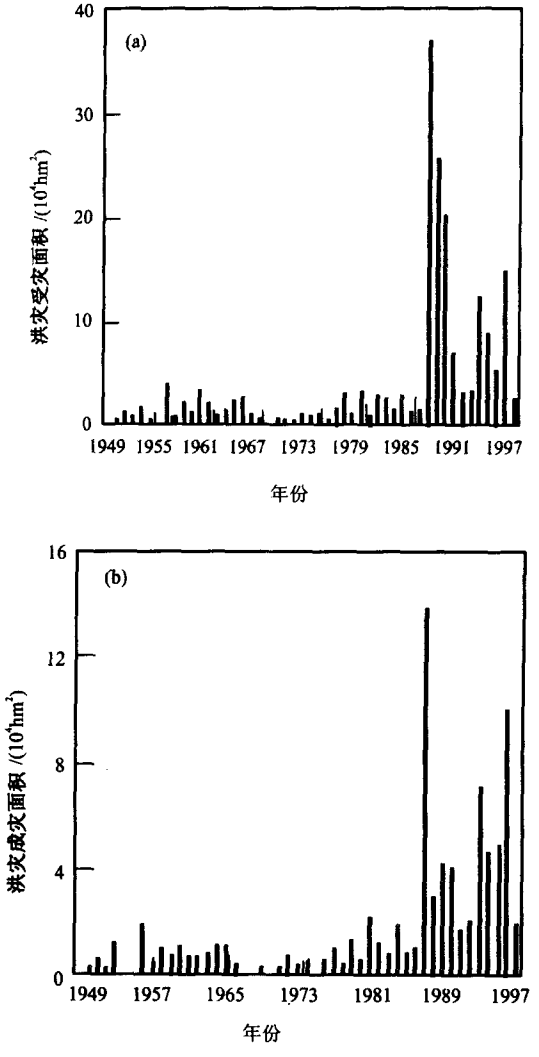


图 2.7 新疆 1950～1997 年农田洪水灾害受灾面积（a）和成灾面积（b）变化（姜逢清等，2002）

另据 Tucker 与 Nicholson(1999)报道，非洲撒哈拉大沙漠(Sahara Desert) 以 1984 年为本世纪最干旱的一年，植被指数最低，大沙漠扩展到 998×10^4 km^2, 1985 后转向湿润，至 1997 年降雨量低于 200 $mm\cdot a^{-1}$ 的大沙漠面积减少为 893×10^4 km^2，即缩去 10.5%，可看作是和中国西北地区转向湿润，成因都可能由于全球变暖、水循环加强所驱动的遥相关事件。

3　西北气候由暖干向暖湿转型的事实

西北地形复杂，气候差异较大，区域气候分区上可以分为三大气候区块：新疆、甘肃西部、青海的柴达木盆地及昆仑山为西风带气候区，青海高原为高原气候区，甘肃东部和南部、陕西和宁夏为东南季风区及边缘（图 3.1 ，谢金南等，2000）。但实际情形复杂得多，例如从印度洋吹来西南季风降水，可以到达西藏西缘西藏南缘，并越过青藏高原，在西北东部与东南季风汇合，共同作用于西北东部。

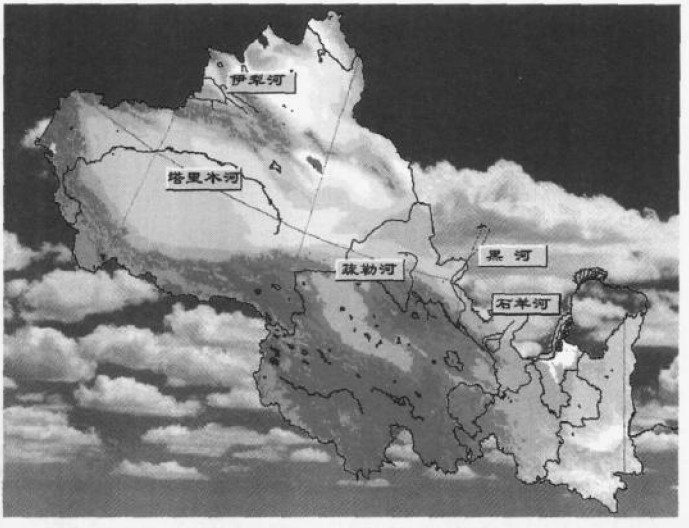


图 3.1　西北地区地形图（谢金南等，2000）

需要全本请访问 www.ertongbook.com