

GIS 支持下的黄河河源区降水径流要素变化分析

李道峰¹, 田 英², 刘昌明^{1,3}

(1. 北京师范大学环境科学研究所, 水环境模拟国家重点实验室, 水沙科学教育部重点实验室, 北京 100875;

2. Department of Civil Engineering, The University of Hong Kong, Hong Kong, China;

3. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘 要: 对黄河河源区多年平均和雨季降水量、年际径流量进行分析。流域西北部玛多站多年平均降水量变化不大, 而流域东南部降水丰沛的久治站则呈现大幅下降的趋势, 这对黄河河源区的产流量带来不利的影响。年内降水量以雨季变化较大, 且表现出下降的趋势。计算得到径流量的变差系数、年际变化绝对比率和均匀系数, 表明径流量年际波动较大。认为降水强度和降水量是影响黄河河源区径流系数变化的主要原因。

关键词: 黄河河源区; 降水量; 径流; 径流系数; GIS

中图分类号: TP79; P332.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2004)01-0144-04

Analysis of Rainfall- Runoff Factor Change of the Source Regions of the Yellow River With Supporting of GIS

L I Dao-feng¹, T IAN Ying², L I U Chang-ming^{1,3}

(1. State Key Joint Laboratory of Environmental Simulation and Pollution Control, Key Laboratory for Water and Sediment Sciences of Ministry of Education, Institute of Environmental Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

2. Department of Civil Engineering, The University of Hong Kong, Hong Kong, China;

3. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: The annual average and rain season precipitation and yearly runoff of the source regions of the Yellow River were analyzed. Annual average precipitation of Maduo station that locates in the northwest of the regions changes with small extend, but annual average precipitation of Jiuzhi station that locates in the southeast of the regions of rich precipitation shows a greatly decreasing tendency, which brings adverse impact on the runoff yield of the source regions of the Yellow River. Intra-annual precipitation changes relatively greatly in rain season and shows a decreasing trend. Taking into account of inter-annual variation of yearly runoff, the authors computed the variation coefficient, absolute inter-annual change rate and non-uniformity coefficient of runoff, and illustrated that the annual average runoff fluctuates relatively greatly. Finally, it is pointed out that rainfall intensity and rainfall volume are the main reasons for runoff coefficient changes.

Key words: the source regions of the Yellow River; precipitation; runoff; runoff coefficient; GIS

1 黄河河源区范围界定

目前, 众多学者根据研究的目标和方法不同, 对黄河河源区这一概念还没有统一的定义。本文根据研究的实际情况, 界定黄河河源区为黄河干流唐乃亥水文站以上的集水区域(图 1), 其原因主要有以下三点: (1)唐乃亥水文站以上流域为一个完整的地理单元, 其地质构造、地貌、气候、植被和

土壤类型等自然地理要素都具有一定的相似性; (2)唐乃亥水文站以上流域人烟稀少, 无大型的水利工程建设, 人类活动影响相对较小。另外, 唐乃亥水文站径流可代表黄河上游第一大型水库——龙羊峡水库入库流量; (3)唐乃亥水文站径流序列资料时间长, 其集水区内的气象站资料也比较丰富。

收稿日期: 2003-06-10

基金项目: 国家重点基础发展规划项目[黄河流域水资源演化与可再生性维持机理, 编号: G1999043601 (973)]资助

作者简介: 李道峰(1975-), 男, 黑龙江省哈尔滨市人, 北京师范大学环境科学研究所博士研究生, 从事水资源水环境和遥感GIS应用研究。



图 1 黄河河源区地理位置

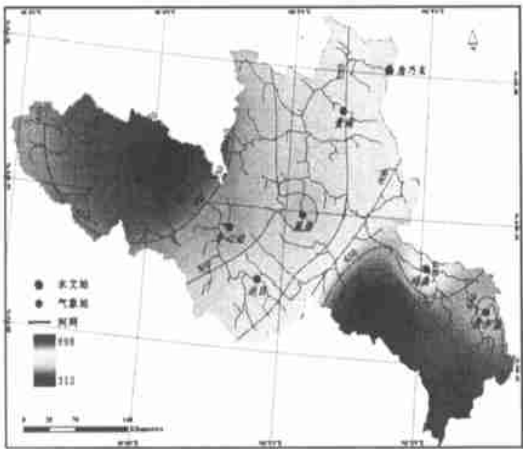


图 2 河源区多年平均降水量等值线图

2 数据处理

黄河河源区基本气象观测站有玛多、中心站、果洛、达日、久治、玛曲、若尔盖、红原和贵南共 9 个, 为准确分析黄河河源区气候变化, 笔者采用泰森多边形法, 将相邻的气象站用直线连接形成若干三角形, 然后对各连线垂直平分, 连接这些垂线的交点, 得到若干个多边形, 每个多边形中各有一个气象站, 即该多边形面积为对应气象站所控制的面积, 区域面降水量可以通过分析该区域内的气象站资料获得。

3 黄河河源区过去近 50 年来降水变化分析

黄河河源区地形复杂, 降水的垂直和水平分布很不均匀, 降水过程大体呈现由东南向西北逐渐递减的趋势, 多年平均降水量在 300~ 900 mm 之间(图 2)。在黄河河源区八个降水控制站中, 久治站多年平均降水量最大, 为 897. 4 mm, 而玛多站的平均多年降水量最小, 只有 312. 2 mm, 这说明黄河河源区降水量空间变异较大。除红原站和久治站以外, 流域内的大部分测站年内降水都呈现单峰状态, 峰值出现在 7 月。流域降水量在季节上分布极不均匀, 干湿季非常明显, 降水量大部分集中在湿季夏半年(5~ 10 月), 降水量约占年降水量的 90%, 流域内各测站多年平均降水量的干湿季分配见表 1。

表 1 黄河河源区多年平均干湿季降水量

雨量站	高程/m	湿季(5~ 10 月)		干季(11~ 4 月)		多年平均 降水量/mm
		降水量/mm	全年比例/%	降水量/mm	全年比例/%	
玛多	4272. 30	280. 85	89. 95	31. 37	10. 05	312. 22
中心站	4211. 10	406. 29	88. 49	52. 86	11. 51	459. 14
果洛	3719. 00	443. 93	90. 32	47. 58	9. 68	491. 51
达日	3967. 50	486. 31	89. 62	56. 31	10. 38	542. 62
久治	3628. 50	736. 31	82. 05	161. 09	17. 95	897. 40
玛曲	3471. 40	538. 15	89. 78	61. 24	10. 22	599. 39
若尔盖	3439. 60	569. 64	87. 98	77. 83	12. 02	647. 47
红原	3491. 60	654. 26	103. 66	86. 32	13. 68	740. 58

3.1 多年平均降水量变化

选取玛多和久治为典型雨量站, 分别代表黄河河源区降水量稀少的西北部和降水量丰沛的东南部, 分析多年平均降水变化, 分别对两站的降水资料进行 10 年绝对平均、5 年滑动平均和趋势线计算, 绘制出流域年降水量变化曲线(图 3)。从降水量的变化情况看, 在过去近 50 年时间里玛多站的年降水量略有上升趋势, 其中 50 年代降水量最大, 平均值为 365. 54 mm, 比最枯的 60 年代高出 80 mm, 增长了 23%, 50 年代以后各年中降水量都不大, 但都呈现出缓慢上升的趋势。相反, 流域东南部降水量较多的久治站则呈现出下降的趋势, 尤其是 90 年代下降的最快, 比降水量最多的 80 年代低出 106. 03 mm, 下降了 13. 5%。结果表明(表 2), 黄河河源区多年平均降水量在近 10 年间缓慢下降, 变化的幅度也比较大, 这对黄河河源区产流量会造成一定的影响。

表 2 黄河河源区 50 年来降水量的变化

雨量站	高程/m	年代平均降水/mm					多年平均 降水/mm
		50 年代	60 年代	70 年代	80 年代	90 年代	
玛多	4272. 3	365. 54	282. 54	311. 99	321. 92	325. 04	312. 22
久治	3628. 5	766. 80	766. 80	770. 0	786. 61	680. 58	750. 10

3.2 雨季各月降水量变化

图 3 为玛多站和久治雨量站近 50 年来雨季各月降水量变化, 两站雨季各月降水量大都呈现出逐渐缓慢下降的趋势, 玛多站 7 月, 久治站 8~ 9 月降水量减少的速度较快, 两站其它各月历年的变化都不大。对比两站, 久治站的变化趋势比玛多站更为明显, 这说明黄河河源区降雨集中的区域雨季降水量变化较大, 且表现出下降的趋势。

4 黄河河源区过去近 50 年来的径流变化分析

根据黄河河源区唐乃亥水文站 42 年(1956~ 1997 年)径流实测资料, 计算得到平均年径流总量 203. 64 亿 m³, 占整个黄河总径流量的 35. 11%, 平均流量 645. 74 m³/s, 是黄河流域的主要产流区之一。径流年内分配很不均匀, 汛期(4~ 10 月)径流量为 158. 61 亿 m³, 平均流量 1 019. 88 m³/s, 占全年径流总量的 77. 89%。黄河河源区多年平均月径流量变化为双峰型, 一次是 7 月份, 月平均流量 1 307. 71 m³/s, 一次是 9 月份, 月平均流量 1 249. 43 m³/s。

分析 1956~ 1997 年黄河河源区唐乃亥水文站实测资料可以看出, 多年平均径流量基本保持不变, 但在不同年代有所不同, 80 年代径流量最大, 为 753. 34 m³/s, 到 90 年代又

有所下降。多年平均径流系数在 0.25~0.30 之间(表 3)。

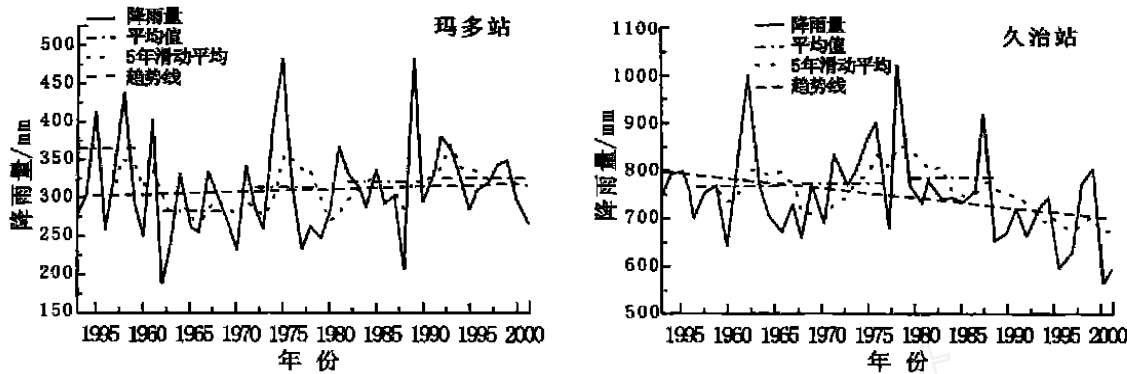


图 3 玛多和久治站年平均降水量变化曲线

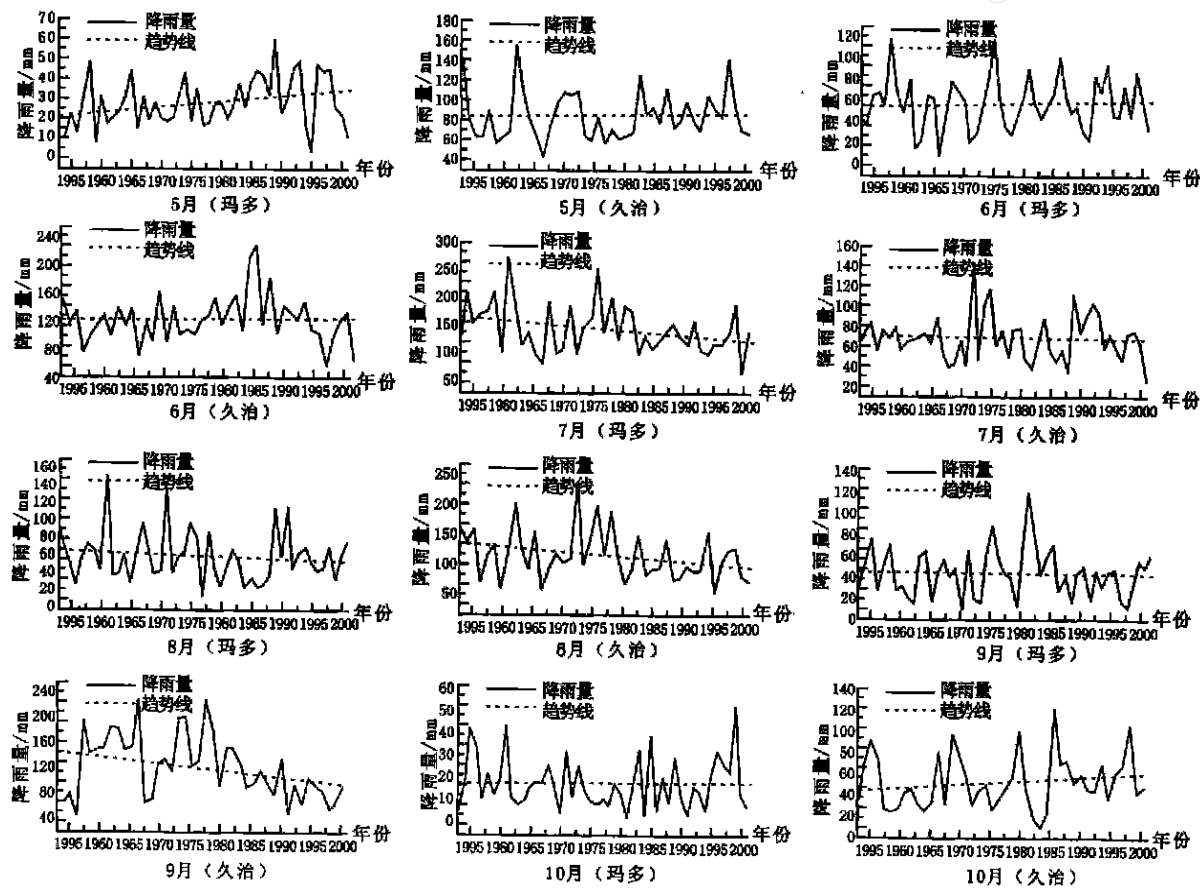


图 4 黄河源区历年雨季各月降水量变化曲线

表 3 康乃亥水文站各时段径流量变化

	50年代	60年代	70年代	80年代	90年代	平均值
径流量/(m ³ ·s ⁻¹)	511.02	676.84	658.34	753.34	525.81	645.74
面降雨量/mm	483.43	578.72	583.12	605.08	548.18	569.61
径流率/mm	119.68	158.52	154.18	176.43	123.14	151.23
径流系数	0.25	0.27	0.26	0.29	0.22	0.26

为考察径流量的年际变化幅度,笔者选取年径流量的变差系数 C_v 值、年际变化绝对比率 P 和不均匀系数 α 这三个因子进行分析(表 4)。

年径流量的变差系数 C_v 可用下列公式计算:

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K_i - 1)^2}{(n-1)}} \quad (1)$$

式中, n ——观测年数; K_i ——第 i 年的径流变率,即第 i 年平

均径流量与多年平均径流量的比值。变差系数 C_v 可反映年径流量的总体系列离散程度, C_v 在 0~1 之间。 C_v 越大,离散度越大,说明年径流量的年际变化越剧烈,这对水资源的持续利用不利,而且易发生洪涝灾害;相反 C_v 越小,离散度越小,有利于水资源的利用。计算求得黄河河源区径流量的年际变差系数 $C_v = 0.46$,表明黄河河源区多年径流量变化较大。分析其原因主要有以下三方面: 黄河河源区年降水量不大,降水集中而不稳定,蒸发量年际变化也较大,因此年径流量 C_v 较大; 黄河河源区海拔较高,高山融雪或地下水作为主要补水来源,而气温是决定冰川积雪融化的内在动力,由于流域气温的年际变化幅度较大,所以年径流量 C_v 值也较大; 流域面积大小也影响着 C_v 值,黄河河源区唐乃亥水文站控制的流域面积约为 13.4 万 km²,属空间大尺

度流域,各支流径流变化情况不一,这也决定了 C_V 的大小。

表 4 黄河河源区径流量年际变化

水文站	面积/ 10^4 km^2	平均径流 $/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	变差系数	变化绝对 比率	不均匀 系数
唐乃亥	13.47	645.74	0.46	2.46	0.62

黄河河源区年际径流量的绝对变化率 P 用下式计算:

$$P = P_{\max}/P_{\min}$$
 (2)

式中: P_{\max} 和 P_{\min} ——多年最大径流量和最小径流量。 P 值反映了流域内年径流量两个极端值的倍数关系,显示径流量的不均匀程度。 $P = 1$ 时,表明径流很均匀, P 越大,表明径流量年际变化越不均匀。计算得到黄河河源区径流量绝对变化率为 $P = 2.46$ 。径流量的年际不均匀系数 α 由下式计算:

$$\alpha = P/P_{\max}$$
 (3)

式中, R 和 R_{\max} 分别为多年平均径流量和最大径流量。流域降水不均匀系数 α 反映了年际径流量的不均匀特征, α 越接近 1,表明年际径流量越变化越均匀。计算得到黄河河源区径流量不均匀系数 $\alpha = 0.62$,表明该流域径流量的年际变化均匀度较差。

5 黄河河源区径流对降水变化的响应

径流系数指某一时段内流域的径流深度与相应的降水深度的比值,径流系数表明了降水过程中最后有多少降水转化为径流,综合反映了流域内自然地理要素对降水——径流关系的影响。影响径流系数的因素主要表现在以下两方面:

5.1 降水强度

在下垫面相同或相似的流域,同样的降水量,不同的降水强度,会影响流域的产流量,从而改变径流系数。同样的降水量,当降水强度小时,如果此时土壤含水量未饱和,降水首先要向土壤中下渗至土壤饱和才能产流,而有时降水还不能满足土壤饱和需水量;另外,由于降水的历时长,蒸发量相对较大,小雨增加土壤含水量,也增加了土壤水的蒸发,因此产生的径流量就相对较小,径流系数也会变小。大雨或暴雨时,降水历时长,蒸发量小,产流量会增大,因此径流系数也会偏大。

5.2 流域下垫面因素

在不同的流域中,降水量和降水强度相同时,植被、土壤类型、地质条件、地形地貌、土壤前期含水量的不同会直接或

间接影响流域的蒸发量,导致产流量不同,最终影响径流系数的大小。

根据黄河河源区玛多等 8 个气象站实测降水量和唐乃亥水文站实测径流量资料,计算黄河河源区的降雨量和唐乃亥水文站的径流深度,得到黄河河源区近 50 年来平均径流系数为 0.26。5 为 5 年平均径流系数曲线。可以看出,从 50 年代到 80 年代初期,径流系数一直变化不大,保持在 0.26 左右。但 80 年代起伏比较大,增大到了 0.3 以上,从 80 年代末期一直到 1997 年径流系数一直呈现出下降的趋势。

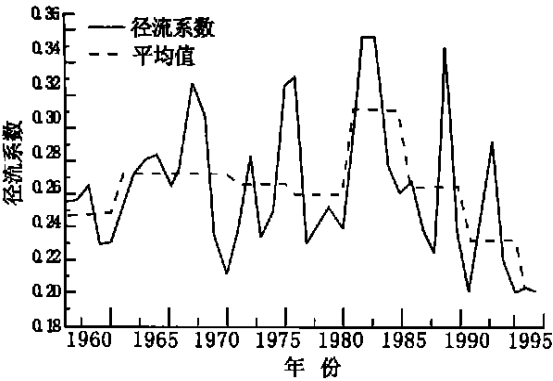


图 5 黄河河源区径流系数变化曲线

结合 80 年代和 90 年代黄河河源区土地覆被类数据,分析两期径流系数变化趋势,90 年代径流系数较 80 年代有所降低,单从植被影响蒸发的角度来看,径流系数的降低有可能是由植被覆盖度增加引起的。实际情况是,90 年代的土地覆被状况和 80 年代土地覆被状况相比(表 5 和图 6),虽然林地面积略有增大,但是草地面积却明显减少,高覆盖度草地面积减少得很多,而一些荒地和未利用的土地急剧增加,使植被覆盖度降低,土地覆被状况变差,这样的土地覆被变化情况会引起径流系数的增加,而结果恰恰相反。分析影响径流另一个重要因素降水强度,结果发现 90 年代降水类型多是小雨,次数多,降水历时长,各测站中雨和大雨的天数都要少于 80 年代(表 6);而 80 年代降大雨或中雨的次数要多于 90 年代,且总量也比较大,因此 90 年代大雨频率小,降水量小可能是引起其径流系数减小的一个主要原因。

表 5 黄河河源区 80~ 90 年代土地覆被

	耕地	有林地	灌木林	疏林地	高覆盖草地	中覆盖草地	低覆盖草地	水域	未利用地
80 年代	515.40	550.65	2867.50	-	80416.71	36771.09	1370.45	1953.13	6980.47
90 年代	1139.90	819.70	7660.70	298.57	20559.89	42911.38	36313.92	2810.54	18910.75

km²

表 6 玛多站和若尔盖站 80~ 90 年代降水强度 mm/h

测站	年代	小雨		中雨		大雨		暴雨	
		(< 10)		(10~ 24.9)		(25~ 49.9)		(> 50)	
		天数	平均	天数	平均	天数	平均	天数	平均
玛多	80	1177	2.01	61	13.53	0	-	0	-
	90	1,405	1.74	59	13.61	2	28.90	0	-
若尔盖	80	1370	2.39	172	14.54	27	31.20	1	51.00
	90	1416	2.38	155	14.31	21	31.55	2	55.55
久治	80	1504	2.66	227	14.29	20	30.86	0	-
	90	1594	2.73	160	14.02	10	29.57	0	-

6 结 论

本文以黄河河源区近 50 年来降水与径流实测资料为基础,对流域多年平均降水量、雨季各月降水量和年际径流量变化进行分析。结果表明,流域西北部玛多站多年平均降水基本保持不变,而流域东南部降水丰沛的久治站则呈现下降的趋势,尤其是 90 年代下降得最快,对黄河河源区的产流量会造成一定的影响。黄河河源区年内降水量以雨季变化较大,且表现出下降的趋势。

(下转第 155 页)

质基础,特殊的地形条件为滑坡的运动提供了基础。

(2)人工开挖坡脚是触发滑坡的直接因素,降雨是滑坡产生的诱发因素。

(3)K351 滑坡目前处于极限平衡状态,由于坡体的结构复杂,治理措施应包括以下几个方面:

根据地形特征和滑坡特征分析,抗滑工程既要阻止滑坡沿新滑动面的滑动,又必须考虑沿老滑动面滑动的可能。由于坡面较陡,表部有多处塌滑现象,可采用面广、孔多、分散加

力的钢筋混凝土格梁加预应力锚索措施。

在滑坡后部稳定的台地上,布置排水沟。将后部的雨水直接排入妥曲。在坡体内修筑排水渗沟,排除坡体内的地下水。

在公路内侧修筑挡墙和河边修筑挡水墙,防止浅层塌滑和河水冲蚀坡脚影响公路及滑坡的稳定性。

在对岸坡体的坡脚应修筑一定的保护工程,防止河水对坡体的淘蚀。以避免对岸坡体失稳而对其产生影响。

参考文献:

[1] 张小刚,孔纪名,王成华,等. 国道 317 线妥昌公路改线工程治理研究报告[R]. 成都: 中国科学院成都山地灾害与环境研究所,2002 11,24- 38

[2] 乔建平. 滑坡体结构与坡形[J]. 岩石力学与工程学报,2002,21(9): 1 355- 1 358

[3] 乔建平. 滑坡减灾理论与实践[M]. 北京: 科学出版社,1997. 28- 41.

[4] R L 舒斯特,R J 克利泽克(美). 滑坡分析与防治[M]. 北京: 中国铁道出版社,1987. 16- 20

[5] 王成华. 滑坡的危险斜坡判别模型[A]. 中国泥石流滑坡编目数据库与区域规律研究[M]. 成都: 四川科学技术出版社,1998 66- 72

(上接第 147 页)

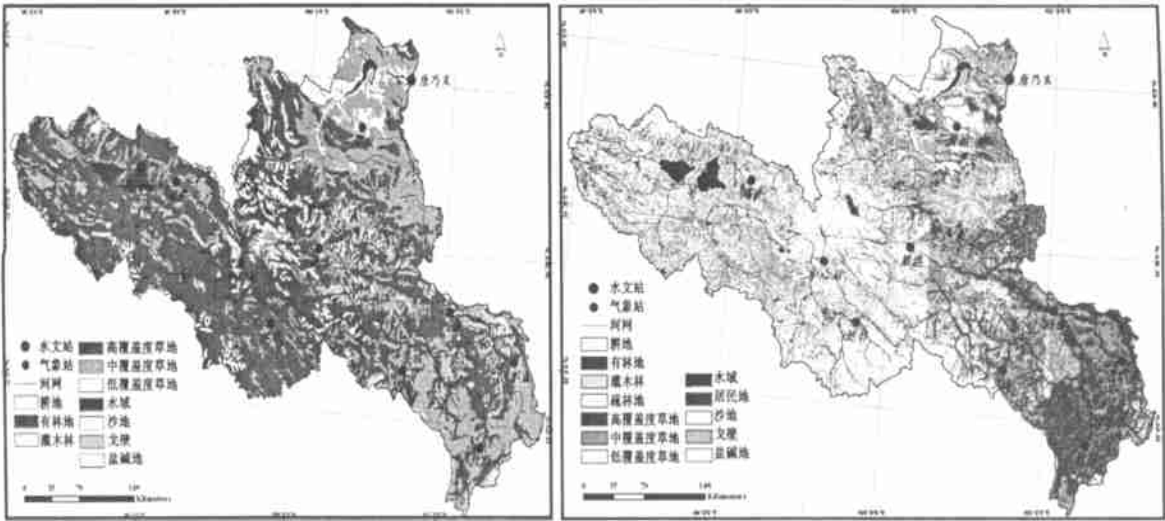


图 6 黄河河源区 80~ 90 年代土地覆被现状图

河源区多年平均径流量不同年代变化较大,80 年代最大,到 90 年代急剧下降。80 年代径流系数最大,为 0.29。多年平均径流系数在 0.25~ 0.30 之间。河源区径流量的变差系数、年际变化绝对比率和均匀系数分别为 0.46,2.46 和

0.62,说明径流量年际波动较大。

选取径流系数为反映水文效应的参数,从理论上定型分析了土地覆被变化是影响流域径流系数变化的次要原因,而降水强度和降水量则是影响径流系数变化的主要原因。

参考文献:

[1] 姜爱林,祝国勇. 西部黄河河源区生态环境现状及治理对策[J]. 理论学刊,2000,9(5): 77- 81.

[2] 巴金福,祁万明,汪青春,等. 黄河上游降水时空分布特征及变化趋势[J]. 青海电力,2000,(1): 9- 12

[3] 祁明荣. 黄河源头考察文集[C]. 西宁: 青海人民出版社,1982 34- 50

[4] 史辅成,等. 黄河流域暴雨与洪水[M]. 郑州: 黄河水利出版社,1997. 120- 121.

[5] 汪青春,周陆生,张海玲,等. 长江黄河源地气候变化诊断分析[J]. 青海环境 1998,8(2): 73- 77.

[6] 王国庆,史忠海. 气候变化对黄河上游水文的影响[J]. 河南气象,2000,(4): 20- 22

[7] 闫敏华,邓伟,马学慧,等. 大面积扰动下的三江平原近 45 年气候变化[J]. 地理学报,2001,56(2): 159- 168

[8] 燕华云. 黄河源区地表水资源特点初步研究[J]. 西北水资源与水工程,2000,11(1): 31- 34