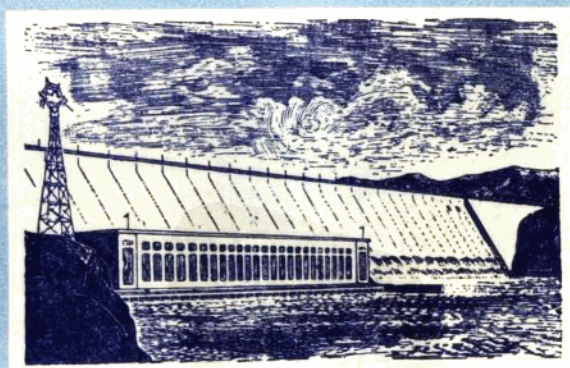


水力發電建設常識

第二分冊 勘 測

苗宜 王礼育 余仁福 宋銘奎編著



電力工業出版社

序 言

水电站設計的基本資料，分为水文資料、地質資料、地形資料、和水庫区域經濟調查資料四部份，为了获得这些基本資料，就必须进行勘测工作。因此，沒有勘测，就不可能进行設計，所以勘测与設計是結合的，彼此都不能缺少。勘测工作者要精通本身的专业，同时也要熟悉設計工作，这样才容易領会到設計人員所提出的要求和意图。

在水电站建設中，基本資料起着决定性的作用，勘测工作做的不好，基本資料就不正确，影响水电站的造价和發電量，并可能导致建筑物坍塌，造成巨大災害。

勘测工作必須走在水电建設的最前面，勇敢的勘测人員要遍走荒山峡谷，險灘急流和人煙稀少地区，他們在野外要进行長期的观测，在室內进行深入的分析研究与計算。由于大自然的秘密，有的深藏地下(如岩層情况)，有的一去不返(如水文現象)，所以勘测工作者必須具有創造性的劳动，同时勘测比設計和施工的工作条件困难得多，需有高度的科学理論水平与政治覺悟，因此，勘测人員的任务是艰巨的、光荣的。

在新中国，水电勘测工作受到各方面的重視，水电部門的勘测力量已有很大發展，給各水电工程設計單位提供了很多完整的基本資料，并为即將施工的水电站准备了条件。

目 录

序 言

第一章 水文	3
1. 概述	3
2. 关于河流的一般概念	4
3. 河流的水文特性	7
4. 水文計算	21
5. 水文勘测	47
第二章 測量	67
1. 測量的一般概念	67
2. 測量在水电建設中的作用	71
3. 地形測量	72
4. 控制測量	76
5. 測量工作的步驟与組織	84
6. 攝影測量	87
第三章 工程地質	91
1. 工程地質的任务及其基本知識	91
2. 工程地質勘察的技术	118
3. 水电建設工程地質勘察的步驟	128
4. 工程地質勘察工作在水电建設中的重要性	133
第四章 水庫区經濟調查	136
1. 經濟調查的一般概念	136
2. 經濟調查在水电建設中的作用	137
3. 經濟調查的基本任务	139
4. 經濟調查的程序和要求	140
5. 考虑淹沒区措施的几項原則	144

第一章 水 文

1. 概 述

随着我国社会主义經濟有计划的大規模發展，河流水利資源的利用日益發達，因此必須研究我国河流的水文特性，其中尤以研究河川逕流及其变化規律为主（其他水文現象，如水位和泥沙等都是随着逕流的变化而变化的）。因为我們知道，为了發展农业就要考虑各地灌溉用水；为了改善航运条件就要考虑河道水深的变化；为了防止洪水泛濫就要考虑到逕流量多少及其季节变化；为了發電就要考虑逕流和泥沙的变化等等。若对河流水文情况（例如逕流量多少及其变化）知道得越少，在工程設計上就必须留出越大的差額，使水利建設的成本过高，甚至由于得不到所期望的水量而減少了設計时所定發電量。如果工程設計采用的水量过小，則不但不能充分利用水力資源，水工建築物（如水壩）亦易遭受破坏，甚至造成災害。为了对一条河流全盤規劃，进行綜合性的多目标的開發（即防洪、發電、灌溉和航运等多方面的效益，充分利用河流水利資源，如黃河三門峽水利樞紐就是进行多目标開發的）。就更要根据正确的水文計算（即进行河川各种特征逕流量和沙量的計算等），以便按照人們的意志重新分配河流的逕流，整个地改变河流的自然面貌。而水文計算的正确性主要决定于計算时所用的原始水文勘测成果的長期性和准确性等等。

在我国，水文工作历史悠久，远在秦朝就已有人在河岸岩石上刻划水尺观测水位，宋朝在灌溉渠道和通航河流上设立水尺相当普遍，清初有测量水量设备，至于利用科学方法进行水文测验则始于清末帝国主义侵略之时，但因历年反动政府不兴水利，水文工作甚为落后，新中国成立后，国民经济日益发达，河流的利用得到迅速发展，因而水文工作也随之发展，就水电部门来说，仅野外水文测站在两三年内就增加了四倍以上。

目前水电部门水文工作包括水文勘测和水文计算两部分。水文勘测的任务主要是根据水电站各设计阶段，和施工及运转期间各项工作的需要，在河流上或水力枢纽附近河道的河床上选定适宜地点设立水文测站，经常进行各项水文要素(如水位、流量、沙量和气象等等)的野外观测和测量工作，并加以整理，以供给水文计算和其他工作所需要的原始资料。水文计算的任务则是根据野外水文勘测成果，推算出某一水流断面(如拦河坝附近河道横断面)的特征流量，如多年平均流量、最大、最小流量和输沙量等数据，以作为设计依据。

2. 关于河流的一般概念

地球上水的来源是天空所降的雨、雪和雹等，统称为降水量。降水量的变化过程是(1)形成地面逕流，(2)直接蒸发至空中，(3)在地心吸力作用下渗透至地下。地面逕流和渗透至下的水量有的流入江湖，有的流入海洋，在太阳辐射作用下再蒸发至空中变成水蒸汽，遇冷凝结成雨降于地面，如此循环不息，称为水的循环(圖1)。



圖 1 水之循環

产生河流的基本因素是降水，沿着河流流域坡面流动的雨水冲刷着地表面上的土壤，经过相当长的时间，地表被冲刷成不大的犁沟，以后又冲成小溪，小溪匯合成小河，小河再匯合成大河，这样就形成与该区域的地形密切相关的河流系统。河流系统(简称河系，也称河网)是由河流的干流和支流组成，干流或直接流入海洋，如长江流入东海，或注入湖泊和消失于沙漠中，如新疆境内的内陆河流。支流又分为一级支流、二级支流和三级支流等。流入干流的支流称为一级支流，如乌江流入长江，乌江就是长江的一级支流。流入一级支流的称为二级支流。如猫跳河流入乌江，猫跳河就是长江的二级支流，其余类推。支流分佈形状

大致可分为扇形和矩形(圖 2 甲、乙)。扇形分佈者，支流河口的位置彼此相距較近，矩形分佈者，支流河口均匀分佈于干流上。

每条河流沿河長各段的特性多不相同，但一般可分为河源、上游、中



圖 2 甲 支流的扇形分佈



圖 2 乙 支流的矩形分佈

游、下游和河口。河源是河流發源地，河源有的是深山泉水，有的是湖泊。上游直接連着河源，在河流上游，它的特征是河谷狹、落差大、水流急、險灘多、水力資源豐富。中游的特性是河谷漸寬、坡度漸平、水流漸慢，但仍有峽谷與平原相間，如黃河三門峽水庫就是在峽谷處筑堤，利用峽谷以上的廣大平原作為水庫的。下游的特征是河流坡度平緩，水流緩慢，泥沙淤積，沙洲多，山谷很少，很難找到水力填址。河口是河流終點，也是河水流入海洋、湖泊、或其他河流的處所，河口處河面寬、多三角洲。河流的降落（也稱縱比降或坡度）是河流的一個非常重要的特性。河流縱比降變化的一般規律是從河源向河口逐漸降低，不過在個別河段常會破壞這個規律，即縱比降有局部的升高或降低如圖3，（縱比降以河流水面縱斷面在每公里長度內降落若干公尺表示）。

每條河流都有它自己的流域特性（流域是指大陸上的某

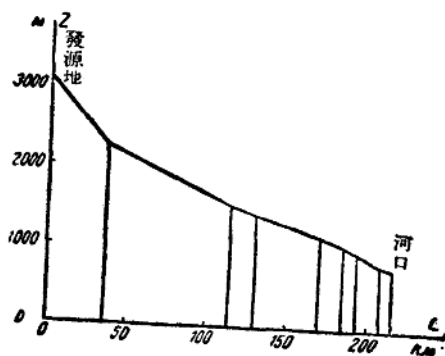


圖 3 某河的縱斷面

一部份面积，在这部份面积上的水都沿着地面斜坡直接流入某一河段或经过支流注入某一河流，两个相邻流域之间有一分界线称为分水线，降在分水线两旁的水量分别流入两条河流），流域特性通常包括流域自然地理特性，气候特性和水文特性。自然地理特性用下列特性表现出来，即流域面积大小、流域形状（如梨形和其他形状）、支流分佈形状（如扇形或矩形）、流域长度和平均宽度、地理位置（通常以地理座标经纬度表示）、地形、地质、植物复盖、沼泽和湖泊分佈情况等。气候特性主要是说明降水量及其在流域内的分佈，气温湿度和蒸发的变化等。水文特性主要是逕流量及其变化。流域自然地理特性和气候特性直接或間接影响水文特性，而人类对河流的改造和利用（如在河床上筑坝蓄水、发电、灌溉或砍伐地面森林和开垦荒地等等）往往会局部（甚至全部）改变河川水流的原来面貌。

3. 河流的水文特性

在本节內分别叙述河流的水位、逕流、冬季情况和固体逕流等水文要素的特性，其中着重叙述逕流特性。

一、水位

河流水面高出标准基面的高度叫做水位（如黄河流域水文测站以大沽海面为标准基面）。水位的变化主要是由于河中水量的增多或减少，例如我国北方河流，在春雪溶化和夏末秋初降雨时水量增加水位就上涨，夏初久晴不雨水位就下落。此外由于在河床上筑坝蓄水，在河岸上修建灌溉渠道或冬季河水结冰等等都会使水位发生复杂的变化。

要想了解河中水位变化过程就需设立观测水位的设备，

以求得河流每日的平均水位，并推求出每月的和一年的平均水位（月平均水位是指一个月內日平均水位之总和除以全月天数所得之值，而年平均水位是將一年內各月平均水位相加除以 12 所得之值）。以日或月平均水位 H （公尺）为縱座标，以時間 t （日或月）为横座标，就可繪成逐日平均水位过程綫圖（圖 4），或逐月平均水位过程綫圖（圖 5 甲、乙），在洪水时期水位变化急剧时就繪制逐时平均水位过程綫圖（圖 6 甲、乙）。水位过程綫是河流水位情况的最重要的特征。

从圖 4 至圖 6 中我們可知不同河流的水位在各月，各日

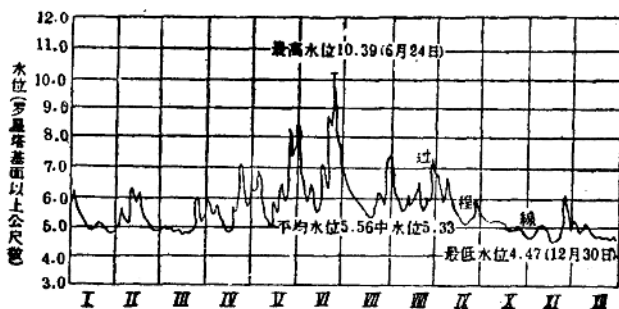


圖 4 逐日平均水位过程綫

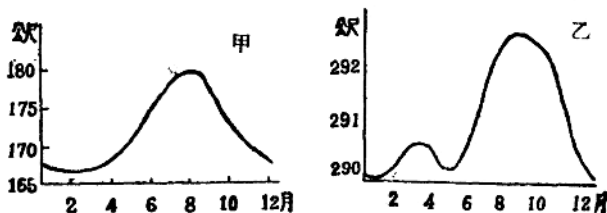


圖 5 甲—黃河陝县站月平均水位曲綫；
乙—長江重慶站月平均水位曲綫。

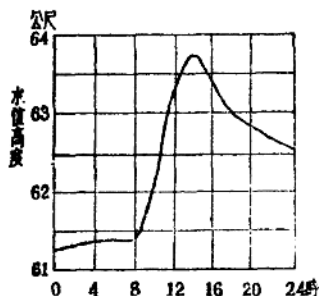
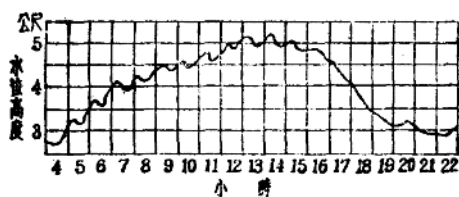


圖 6 甲—冰雪类河流水位过程綫；
乙—1951 年 8 月 8 日临沂站水位过程綫。

甚至各时內的变化都不相同。一般來說，在洪水期(夏末秋初或春季)降雨多或春雪溶化，水量增加，在各月各日內水位变化就大。在非洪水期降雨少又無溶雪，在各月各日內水位变化就小。由于河流水量补給、流域面积大小和河段坡度不同，水位变化亦不相同，如由溶雪供給水量的河流水位变化慢，由降雨供給水量的河流水位变化快，同时由溶雪或降雨供給水量的河流，大河水位变化慢，小河水位变化快。圖 5 和圖 6 分別表示不同河流不同測站的水位一年和一日內的变化情况。圖 6 甲为由溶雪供給水量的河流的逐时水位过程綫圖，从該圖可知晚上温度低，溶雪停止，水位下落，中午以后温度升高，水位上漲。圖 6 乙为由降雨供給水量的山区

性河流，水文測站洪水期逐時水位過程綫圖，從該圖可知未降雨前水位很低，降雨後水位急漲。圖 5 甲和圖 5 乙分別為只依靠降雨和既依靠降雨又依靠溶雪供給水量的河流的月平均水位過程綫圖，上兩圖最大不同點在於 2—4 月，在這三個月內重慶站無降雨水位很低，陝縣站三月份由於上游和本站冰雪溶化水量增加，水位就上漲，5 月份溶雪完畢又未降雨水位就下落，6 月份以後長江和黃河都先後降雨，水位逐漸上漲，10 月份以後少雨，水位下落。

由上例可知繪制水位過程綫，就使我們了解到水位在各時段（年、月和日）內的變化，主要受氣候要素（其中以降水量最為重要）的影響。當然也有受其他因素影響的，例如同一流經通過河面狹的河槽所引起水位上漲的高度比河面寬的河槽高。此外在南方河流由於河中水草的生長及北方河流由於河中冰填冰塞的形成和崩潰都足以引起水位的上漲和下落。

為了實用的目的，除了繪制水位過程綫外還要找出一般水位特征值、極端水位特征值及其發生日期。作為一般水位特征值的是在一定年數中（例如在 5 年、10 年和 15 年等進行過水文觀測的時間內）的一般洪水位、枯水位和平均水位等。在結冰河上，春季和秋季流冰期的一般水位，最高水位，開河和殘冰消盡的日期，秋季第一次流冰和封河的日期以及封河的期間都具特別有意義的。極端水位特征值是歷年（指有水文觀測資料的全部期間）內最高水位、最低水位、一般高水位（即歷年高水位的平均值）、一般低水位。此外歷年內最高水位和最低水位的差數（即極端水位幅度）往往是極為重要的水位特征。

二、逕流

河川逕流是以流量、逕流总量和逕流模数表示的。在每秒鐘內通过某一橫断面(指橫截河槽的断面)的水量体积叫做流量,其單位为秒公方。在某一固定时段(如日、旬、月和年)流經某一断面的水的总体积叫做逕流总量。显然任一时段內的逕流总量 W 就是該时期內河流平均流量 Q (Q 一般用多年平均流量,以秒公方为單位)和时段 T (以一日,一月或一年的总秒数計算)之乘积。即 $W = QT$, W 的單位为百万公方、亿公方或十亿公方。逕流模数是指在每平方公里的流域面积上每秒鐘所流过的逕流量,其單位为公升/秒/平方公里,即 $M = \frac{Q}{F} 10^3$ (式中 Q 为多年平均流量, F 为流域面积)。逕流模数通常是用来比較不同流域或不同河段产水量大小的。例如長江逕流模数为 19.44 公升/秒/平方公里,黄河仅为 2.00 公升/秒/平方公里,長江产水量比黄河約大 10 倍。

由于河道流量在数量上不断發生变化,仅仅用任何时期的平均流量或逕流总量去表明河川逕流情况的全部特性是不够的,这就須利用流量过程綫来表示流量随时程的变化,而且通常是繪制日平均流量过程綫。在具有多年流量資料时,还可以繪成一条連續的流量过程綫(如圖 7 所示,繪制方法与繪制逐日平水位过程綫圖一样)。

在水利計算中,常常要曉得任何时段流經某一断面的水的总体积,这时就需繪制水量累积曲綫(如圖 8)。該曲綫縱座标为逕流总量,橫座标为時間,任意兩时刻 t_1 和 t_2 間所通过的水量就是曲綫上相应兩点縱座标之差。

研究任何河流上的多年逐日平均流量过程綫或水量累积曲綫,我們可知河川逕流在時間上的分佈存在一个差不多以



圖 7 連續二年的日平均流量过程曲綫

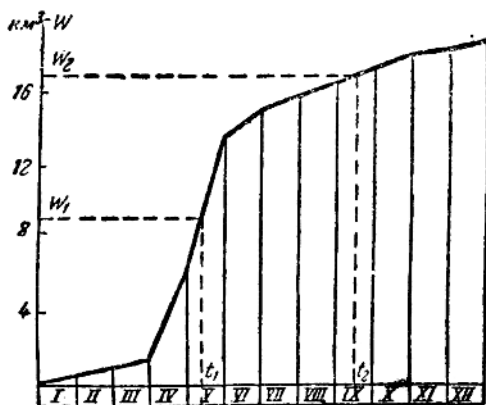


圖 8 水量累积曲綫(直角座标)

年为週期的循环(在水文学中，年份为日曆年和水文年，前者从一月一日开始，后者从洪水期的开始或終止作为一个年份的起始)。任何一条河流的年总逕流，逕流在一年內的分佈和任何一年的逕流情况与另外一年的逕流情况都不会完全相同。也就是說河川逕流情况是不重复的。

我們研究河川逕流特性时通常是研究其定性特性和定量

特性。定性特性就是划分全年循环为几个水文季节，这些水文季主要决定于气候因素(尤以降水量为主)，例如我国大多数河流主要靠降雨供给水量，夏季或秋季下暴雨，河中水量增加，当河水增加到一定程度时，将会淹没两岸铁路，和其他建筑物及居民点，造成灾害，这个时期称为洪水期，这时的河水称为洪水(在新疆各河流洪水是由于春末溶雪形成)。洪水期流量过程綫上各个最高点似山之峯称为洪峯，一年中最高洪峯便是一年中最大流量。春季和冬季少雨甚至無雨，河流靠地下水供给水量，这时水量减少，甚至枯干，这个时期就称为枯水期，一年中最小流量都發生在枯水期。洪水期和枯水期之間有一段时间較短的平水期。各个河流水文季节迟早不一，如長江流域洪水期从夏初至秋初，枯水期在冬季，黄河流域洪水期稍迟。河川逕流的定量特性一般采用季逕流总量(或季平均流量)的平均值，最大值和最小值，它們可以根据長期的水文观测資料計算出来。这些逕流特性可用真值(公方或秒公方)或比值(即用季逕流总量与年逕流总量或季平均流量与年平均流量之百分比)表示。例如黄河流域在陝县水文站处水量的季节分配是这样的，冬季为10%(即佔全年逕流的百分之十)，春季为15%，夏季为38%，秋季为36%，洪水期7—10四个月竟佔全年逕流总量的60%，丰水月份的8—9月份就佔33%，其中8月份約佔18%。除了河川情况的一段特性外，个别突出的水文現象的特性也很重要，例如洪水期的最大流量，枯水期的最小流量等。进一步分析季逕流和个别特性流量的定量特性时，还应研究各季的历时(平均的，即在一般情况下的历时，最長和最短历时)，各季的开始日期(即一般的、最早的和最迟的)，和每年中發生最大流量

的时间，河流結冰、封冻解冻的历时和起止时间等。在水文工作中，求出多年的(具有水文观测资料的全部时期，如 10 年 15 年等)平均年逕流(即多年逕流总量或多年平均流量)、和多年内的最大年逕流、最小年逕流，是很有意义的，其中尤以多年平均流量或多年平均逕流总量最为重要，它是被用来辨别河流的一般輸水能力或代表河流的大小的，例如長江多年平均流量为 35 000 秒公方，黄河多年平均流量仅为 1490 秒公方，長江輸水能力比黄河大 23 倍。此外研究全部水文观测期间内的代表年份(即平水年、丰水年和枯水年)的流量过程綫，則可使我們了解到河川逕流变化的一般情况和特殊情况。上述平水年、是指其年平均流量接近多年平均流量的年份、丰水年和枯水年則指其年平均流量为全部水文观测期间内所有年平均流量中的最大值和最小值的年份。

引起河川逕流在一年内分佈不均匀的主要原因是降水、蒸發和温度等等气候要素分佈不均匀，其中尤以降水量最为重要。在上面叙述水位特性时，我們已簡述了由不同水源供給水量的河流(即由降雨或溶雪、或降雨又由溶雪供給水量的河流)的水位变化和降雨或溶雪的关系，若再繪制像圖 4~6 三圖那样的流量过程綫圖，就会發現河川逕流变化与降雨(或溶雪)的关系同河川水位变化与降雨(或溶雪)的关系是一样的。中国河川逕流量的变化、根据各站流量过程綫(或水位过程綫)的特点和气候要素(主要是降水)大致可分为 10 个类型，即松黑型(包括黑龙江、松花江、圖們江、鴨綠江等)、华北型(包括辽河、海河和黄河某些支流)、黄河型(主要是干流)、淮河型、長江型、閩粵型、大高原型(發源于西藏高原的河流)、草原型(內蒙草原)、天山型(發源于天

山、崑崙山和祁連山区的河流)、阿尔泰型(包括額尔齐斯河和烏倫古河)。其中除天山型主要靠溶雪供給水源,長江型、淮河型和閩型完全或絕大部分靠降雨供給水源之一,其他类型河流大部分靠降雨少部分靠溶雪供給水源。各类型河流逕流量在一年內分配情况都不相似。

因为在河川逕流的情况里存在着年循环,所以在研究逕流特性时,除了研究一年內逕流分佈及其变化外,还应研究历年中年逕流总量的变化情况,研究时通常是用数学統計法計算出各种年逕流总量出現概率,多年平均流量,和数列的变差系数 C_v 和偏曲系数 C_s 等(概率 C_v 和 C_s 的含义和求法在水文計算一节內簡述)。

在結束河川逕流特性的討論之前,根据我国自然地理特点,补充說明自然地理因素对逕流形成的影响和我国地表逕流的分佈情况等。

我們知道逕流基本来源是降水,去掉陆地面的蒸發剩下的就是地表逕流,一般來說大部份地表逕流都直接匯入河槽中,少部分地表逕流先滲入地下,再經過一段時間再匯入河槽中,地表逕流匯入河中就叫做河川逕流。在我国,降水量分佈的整个趨勢,是由东南沿海向西北內陆遞減,如东南沿海为 1750—2000 公厘,而西北沙漠地区除山地外均不及 100 公厘。蒸發量分佈趨勢恰相反,即由西北內陆向东南沿海遞減。在降水和蒸發綜合影响下,东南沿海降水量为蒸發量兩倍,地表逕流必然很大,而西北內陆地区蒸發量为降水量兩倍以上,因之降水很少形成地表逕流。

在地表逕流形成过程中,地貌条件和地表沉积物也起着重要作用。我們知道山地多雨,坡度又陡,逕流集中較快,

再加上岩石暴露，不易漏水，因此同一降水量在山区形成逕流往往比平原地区多，如陝西渭河兩側（一側为山区、一側为平原）逕流模数竟差 10 倍以上。我国山地多，逕流集中很快，常形成山洪。

地表复盖物及其結構对降水的滲漏和逕流的形成有密切关系，如童山秃秃，岩石裸露，缺乏殘积層复盖的山地，降水急急下注，往往形成山洪。而有砂層和粘質土壤沉积物的平地，逕流就少。在有喀斯地形發育的地区（这些地区溶洞很多）地表逕流也减少。流域內若有湖泊、沼澤和窪地时，因为許多水都蒸發掉，地表逕流亦很少。

地面植物狀況对逕流的影响不可能忽視，因为植物可以阻滯逕流急速下洩。若地面缺乏植物，降水时形成的逕流就增加，这在黃河流域是农民皆知的事实。

此外由于人类对河流的改造和利用也大大影响逕流的形成，例如黃河流域正在大規模进行水土保持工作，經過若干年后千溝万壑的流水多数被截留在黃土高原上，那时將會引起黃河逕流的显著减少。

以上因素，綜合的表現在地表逕流系数上（逕流系数是降水深度与逕流深度之間的比值，逕流深度是指將一年內逕流总量分佈于流域面积上所得的深度，其單位为公厘，因降水深度的單位亦是公厘，所以逕流系数是無因次数，同时这里所說的逕流系数是指多年中逕流系数的平均值而不是某一年的逕流系数）。我国北方草原地带，逕流系数为 5—10%，主要是由于降水量少气候干燥所致。長江中下游平原，四川盆地和云貴高原，逕流系数約为 30—50%。南方山岳地带逕流数可达 80%。总的來說，南方降水較多，逕流系数又大，