

绪 论

第一节 水资源及其开发利用

一、水资源的涵义

水是一种重要的自然资源，也是人类乃至整个生态系统赖以存在和发展的基本物质条件。对于水资源，目前还没有非常明确的定义，但比较普遍的说法是有广义和狭义之分。广义的水资源是指地球水圈内的水，它以气态、固态和液态等形式存在和运动着。如海洋水、湖泊水、河流水、地下水、土壤水、生物水和大气水等地球上水资源的总储量达 13.86 亿 km^3 ，其中海水占 96.5%；天然淡水量约 0.35 亿 km^3 ，占总储量的 2.53%。而其中的 99.86% 是深层地下水和两极、高山冰雪等难以为人们所利用的静态水，真正与人类活动密切相关的江河等河槽淡水量只占淡水总储量的 0.006%；而地下淡水的储量却占淡水总储量的 30%。如表 1-1 所示。

因此，从狭义角度讲，水资源是指在目前的经济技术条件下，可供人们开发利用的淡水量；是在一定时间内可以得到恢复和更新的动态量。一般包括水量和水质两个方面。由地表水、土壤水和地下水及其相互转化构成水资源系统。大气降水是其总补给来源。但是，随着科学技术和社会经济的不断发展，狭义水资源的内涵也是在不断发展变化的。现在人们常说的水资源，一般是指狭义水资源。

二、水资源的开发利用

水资源是一种动态资源。其特点主要表现为可恢复性、有限性、时空分布不均匀性和利害双重性。人们在长期的生产、生活过程中，为了自身和环境的需要在不断地认识和开发利用水资源，其内容包括兴水利、除水害和保护水环境。兴水利主要指农田灌溉、水力发电、城乡给排水、水产养殖、航运等；除水害主要是防止洪水泛滥成灾；保护水环境主要是防治水污染，维护生态平衡，为子孙后代的可持续利用和发展留一片绿水青山。

水资源的开发利用主要是通过各种各样的工程措施来实现的。

按照开发利用水资源的目的分为：

兴利工程：农田灌溉工程、水力发电工程、城乡给排水工程、航道整治工程等。

防洪工程：水库工程、堤防工程、分洪工程、滞洪工程等。

水环境保护工程：治污工程、水土保持工程、天然林保护工程等。

按照开发利用水资源的类型分为：

地表水资源开发利用工程：引水工程、蓄水工程、扬水工程、调水工程等。

地下水资源开发利用工程：管井、大口井、辐射井、渗渠等。

综上所述，无论哪种工程措施都与水密切相关。所以，工程的规划设计、施工和管理

运用都必须用到关于水的科学知识

三、我国水资源的特点

(一) 水资源总量多,但人均、亩均占有量少

据统计,我国平均年降水量为 648mm,年水资源总量约为 28 124 亿 m^3 ,其中河川径流量 27 115 亿 m^3 。就总量而言在世界上仅次于巴西、俄罗斯、加拿大、美国和印度尼西亚,居第六位但中国人口众多人均占有水资源量仅为世界平均值的 1/4 相当于日本人均占有量的 1/2,美国的 1/4,俄罗斯的 1/12,巴西的 1/20,加拿大的 1/44。在统计的 149 个国家中,排列第 109 位,属于人均水资源贫乏的国家之一。耕地亩均占有河川径流量也只有 1 900 m^3 ,相当于世界亩均水量的 2/3 左右,远低于印度尼西亚、巴西、日本和加拿大。因此,我国水资源总量从绝对数来看还算丰富,但人均、亩均水量却很少。

(二) 水资源地区分布不均匀,水土资源配置不均衡

我国水资源的地区分布很不均匀,南多北少,相差悬殊,与耕地和人口的分布极不适应,是我国水资源开发利用中的一个突出问题。总趋势是南方水多地少,北方水少地多。如表 0-1 所示。

表 0-1 我国水资源、耕地、人口分区统计(1993 年)

| 流域片 | 占全国(%) | | | 人均 水资源量 (m^3 /人) | 亩均 水资源量 (m^3 /亩) |
|------|--------|------|------|---------------------------|---------------------------|
| | 水资源 | 人口 | 耕地面积 | | |
| 松辽河 | 6.9 | 9.7 | 20.2 | 1 704 | 661 |
| 海河 | 1.5 | 10.0 | 11.2 | 358 | 259 |
| 淮河 | 3.4 | 16.2 | 15.2 | 505 | 437 |
| 黄河 | 2.6 | 8.5 | 12.9 | 749 | 400 |
| 长江 | 34.2 | 34.3 | 23.8 | 2 388 | 2 795 |
| 珠江 | 16.7 | 12.1 | 6.7 | 3 327 | 4 842 |
| 东南诸河 | 9.2 | 5.5 | 2.5 | 2 962 | 5 346 |
| 西南诸河 | 20.8 | 1.6 | 1.8 | 31 914 | 23 089 |
| 内陆河 | 4.6 | 2.1 | 5.7 | 5 270 | 1 590 |
| 全国 | 100 | 100 | 100 | 2 342 | 1 900 |

根据 1993 年资料统计,北方 5 片(松辽河、海河、淮河、黄河、内陆河)人口占全国总人口的 46.5%,耕地占全国的 65.2%,但水资源只占全国的 19%;南方 4 片(长江、珠江、东南诸河、西南诸河)人口占全国的 53.5%,耕地占全国的 34.8%,而水资源量占全国的 81%。西南诸河水资源最为丰富,而海河流域片水资源最为匮乏。

(三) 水资源年际、年内变化大,水旱灾害频繁

我国大部分地区受季风的影响,水资源的年际、年内变化较大。南方地区年降水量的最大值与最小值的比值达 2~4,北方地区为 3~6;最大年径流量与最小年径流量的比值,南方为 2~4,北方为 3~8。水量的年内分配也不均衡,主要集中在汛期。汛期的水量占年水量的比重,从长江以南地区的 60%左右(4~7月),到华北平原等部分地区河流的 80%以上(6~9月)。大部分水资源量集中在汛期以洪水的形式出现,利用困难,且易造

成洪涝灾害。近一个世纪以来,受气候变化和人类活动的影响,我国水旱灾害更加频繁平均每年就有一次水旱灾害如 1998 年长江大水 1997 年的长江和松花江大洪水 1977 年 1980 年北方及黄淮流域的大旱 灾害损失愈来愈严重水旱灾害仍然是中华民族的心腹之患

(四) 水土流失和泥沙淤积严重

随着人口的膨胀 过度砍伐树木 放牧 山坡垦 和不合理的耕作 使地面被覆遭到严重破坏,水土流失严重据统计,到 1998 年全国水土流失面积已扩大到 367 万 km² 占全国陆地面积的 1/4 每年流入江河泥沙 40 亿 t 流失的肥力相当于全国化肥年产量的 10 倍之多 水土流失 造成土壤瘠薄 农业低产、生态环境恶化,而且同时造成河道 湖泊淤积严重 使其行洪 防洪能力减小,防洪难度加大比如,1998 年长江大洪水的洪峰流量比 1954 年的小而洪水位却超过了 1954 年 泥沙淤积还使水库库容减少 效益降低 此外,从多沙河流引水灌溉、供水,泥沙处理也是个难题

(五) 天然水质好 但人为污染严重

我国河流的天然水质是相当好的,但由于人口的不断增长和工业的迅速发展,废污水的排放量增加很快,水体污染日趋严重。1999 年废污水日排放量达 606 亿 t,80% 以上的废污水未经任何处理直接排入水域,使河流、湖泊遭受了不同程度的污染根据 1999 年水质监测结果 全国 11 万 km 长的河流中有 37.6% 被污染(Ⅳ类水质以上),被调查的 24 个湖泊中有 5 个湖泊部分水体受到污染,9 个湖泊受到严重污染水资源污染后失去了使用价值 严重的 甚至破坏生态平衡,造成水资源的污染性短缺,加剧了缺水的危机。

四、我国水资源开发利用现状

新中国成立以来,水利事业取得了长足的发展,水资源开发利用成绩斐然。据统计,截至 1996 年底 全国已整修、新修江河堤防 24.8 万余公里,形成了一个初具规模的防洪体系 建成水库约 8.5 万座,总蓄水库容 4 571 亿 m³ 其中,大型水库 394 座,总库容 3 260 亿 m³;中型水库 2 618 座,总库容 724 亿 m³;小型水库 81 893 座,总库容 587 亿 m³ 同时,灌溉事业也得到了蓬勃发展,建成万亩以上灌区 5 606 处,配套机电井 333 万眼,机电排灌动力发展到 7 020 万 kW,全国灌溉面积发展到 5 116 万 hm² (7.67 亿亩) 累计治理水上流失面积达 61.3 万 km²,累计解决饮水困难地区 1.59 亿人的吃水问题。日前,全国水电装机总量约 4 770 万 kW,年发电量达 1 560 多亿 kW·h

全国总用水量从 1949 年的 1 000 多亿 m³ 增加到 2000 年的 5 498 亿 m³。其中,工业用水占 20.7%,农田灌溉用水占 63.0%,林牧渔用水占 5.8%、生活用水占 10.5%(其中 1 城镇生活用水占 5.2%,农村生活用水占 5.3%)。但是,与世界先进国家相比,工业和城镇生活用水所占的比例较低,农业用水占的比例过大,总用水水平较低。例如,我国 1997 年工业万元产值用水量 136m³,是发达国家的 5~10 倍 据统计,我国工业用水的重复利用率为 30%~40%,实际可能更低,而发达国家为 75%~85% 全国城市输配水管网和用水器具的漏水损失高达 20% 以上;农业灌溉水的利用系数平均约为 0.45 而先进国家为 0.7 甚至 0.8;消耗每方水所能生产的粮食平均只有 1.1kg,也与发达国家相差较远。

根据 1999 年水资源公报,全国总供水量 5 613 亿 m³,其中地表水源供水量占

80.4%，地下水源供水量占 19.1% 其他水源供水量（污水处理回用和雨水利用）占 0.5% 另外海水直接利用量为 127 亿 m³ 流域间主要的水量调配情况是：海河流域引黄河水 53.6 亿 m³，淮河流域从长江黄河分别引水 68.5 亿 m³ 和 19.4 亿 m³，山东半岛从黄河引水 14.4 亿 m³ 而总的说来，我国北方地下水资源的开发利用程度要高于南方。在北方，地表水供水量占总供水量的 75.3%，地下水占 24.7%；南方地表水占其总供水量的 96.5%，而地下水仅占 3.5%

第二节 水文现象及其研究方法

一、水文现象及其基本特点

水文现象，属于自然现象的种，是由自然界中各种水体的循环变化所形成的。比如降雨、蒸发、河流中的洪水、枯水等它和其他自然现象样，是许许多多复杂影响因素综合作用的结果这些因素按其影响作用分为必然性因素和偶然性因素两类其中，必然性因素起主导作用，决定着水文现象发生发展的趋势和方向；而偶然性因素起次要作用，对水文现象的发展过程起着促进和延缓作用，使发展的确定趋势出现这样或那样的振荡、偏离。经过人们对水文现象的长期观察、观测、分析和研究，发现水文现象具有以下三种基本特点

（一）水文现象的确定性

水文现象既然表现为必然性和偶然性两个方面，我们就可以从不同的侧面去分析研究在水文学中通常按数学的习惯称必然性为确定性，偶然性为随机性由于地球的自转和公转，昼夜、四季海陆分布，以及一定的大气环境、季风区域等，使水文现象在时程变化上形成一定的周期性如一年四季中的降水有多雨季和少雨季的周期变化，河流中的水量则相应呈现汛期和非汛期的交替变化另外，降雨是形成河流洪水的主要原因，如果在一个河流流域上降场暴雨，则这条河流就会出现一次洪水若暴雨雨量大、历时长、笼罩面积大，形成的洪水就大。显然，暴雨与洪水之间存在着因果关系这就说明，水文现象都有其发生的客观原因和具体形成的条件，它是服从确定性规律的。

（二）水文现象的随机性

因为影响水文现象的因素众多，各因素本身在时间上不断地发生变化，所以受其影响的水文现象也处于不断的变化之中，它们在时程上和数量上的变化过程，伴随着确定性出现的同时，也存在着偶然性，即具有随机性。如任一河流，不同年份的流量过程不会完全一致即使在同一地区，由于大气环境的特点，某一断面的年最大洪峰流量有的年份大，有的年份小；而且各年出现的时间不会完全相同等

（三）水文现象的地区性

由于气候因素和地理因素具有地区性变化特点，因此受其影响的河流水文现象在一定程度上也具有地区性特点。若气候因素和自然地理因素相似，则其水文现象在时空上的变化规律具有相似性。若气候因素和自然地理因素不相似，则其水文现象也具有比较明显的差异性如我国南方湿润地区的河流普遍水量丰沛，年内各月水量分配比较均

匀,而北方干旱地区的大多数河流,水量不足,年内分配不均匀等

二、水文学的基本研究方法

根据水文现象的基本特点,水文学的研究方法相应地可分为以下三类

一 成因分析法

由于水文现象与其影响因素之间存在着比较确定的因果关系,因此可通过对实测资料或试验资料的分析,建立某水文要素与其主要影响因素之间的定量关系,从而由当前的影响因素状况预测未来的水文情势。这种方法在水文预报上应用较多,但是,由于水文现象的影响因素非常复杂,使其在应用上受到一定的限制,目前并不能完全满足实际的需要。

二 数理统计法

根据水文现象的随机性特点,运用概率论和数理统计的方法,分析水文特征值实测资料系列的统计规律,对未来的水文情势做出概率预估,为工程的规划设计和施工提供基本依据。数理统计法是目前水文分析计算的主要方法,不过这种方法只注重于水文现象的随机性特点,所得出的统计规律并不能揭示水文现象的本质和内在联系,因此,在实际应用中必须和成因分析法相结合。

三 地区综合法

根据水文现象的地区性特点,气候和地理因素相似的地区,水文要素的分布也有一定的地区分布规律,可以依据本地区已有的水文资料进行分析计算,找出其地区分布规律,以等值线图或地区经验公式等形式表示,用于对缺乏实测资料的工程进行水文分析计算。

以上三种方法,相辅相成,互为补充,在实际运用中,应结合工程所在地的地区特点以及水文资料情况,遵循“多种方法,综合分析,合理选用”的原则,以便为工程规划设计提供可靠的水文依据。

三、水文学的主要内容

水文学是研究地球上各种水体的一门科学,属于地球物理学的一个分支,它研究各种水体的存在、循环和分布规律;探讨水体的物理和化学性质以及它们对环境的作用,包括它们对生物的关系。根据研究的水体不同,水文学可分为水文气象学、陆地水文学、海洋水文学和地下水文学。但是,与人类关系最为密切的是陆地水文学,它又可分为河流水文学、湖泊水文学、沼泽水文学、冰川水文学等。河流水文学发展最早、最快,内容也最为丰富,因此一般所说的水文学指的就是河流水文学。

河流水文学按其研究的任务不同,可分为以下几门主要分支学科。

水文学原理:研究水循环的基本规律和径流形成过程的物理机制。

水文测验与资料整编:研究如何布设水文站网,通过长期的定位观测收集较准确的有代表性的基本水文资料,同时通过水文调查,弥补实测水文资料的不足,然后将所得资料按科学的方法和全国统一规范,进行整编、刊印或建立资料数据库,供国民经济建设各部门使用。

水文分析与计算:根据长期实测和调查的水文资料,运用数理统计法,并结合成因分

析法、地区综合法,推估未来长期的水文情势,为水利水电工程的规划设计提供合理的水文依据

水文预报:根据实测和调查资料,在研究过去水文现象变化规律的基础上,预报未来短期内或中长期(如几天、几个月)内的水文情势,为防洪、抗旱及水利水电工程的施工和管理运用等提供依据

水利水电规划:在水文分析与计算和水文预报的基础上,根据预估和预报未来的水文情势,进行水量、水能调节计算和经济论证,对水利水电工程的位置、规模、运行情况等提出经济合理的方案,以满足合理综合开发利用水资源的目的。

第三节 本课程在水资源开发利用工程中的应用

水资源是一种特殊而宝贵的自然资源对它的综合开发利用是国民经济建设中的一项重要任务,而开发利用水资源的各种措施(包括工程措施和非工程措施)都需要研究掌握水资源的变化规律每一项工程的实施过程一般可以分为规划设计、施工和管理运用三个阶段。每一阶段的任务是不同的本课程主要是研究水利水电工程建设各个阶段的水文问题,属于应用水文学的范畴,内容主要包括工程水文学和水利水电规划两大部分

工程水文学是将水文学知识应用于工程建设(本书主要涉及水利水电工程建设)的一门学科。它主要研究与水利水电工程建设有关的水文问题,即为水利水电等工程的规划设计、施工和管理运用提供有关暴雨、洪水、年径流、泥沙等方面的分析计算和预报的水文依据

水利水电规划则是根据国民经济的实际需要,以及水资源的客观情况,研究如何经济合理地开发利用水资源,治理河流,确定水利水电工程的开发方式、规模和效益,以及拟订水利水电工程的合理管理运用方式等等

在工程的规划设计阶段,主要是研究河流水情的变化规律,对河流未来的水量、泥沙和洪水等水文情势做出合理的预估,经径流调节计算确定工程的规模参数,如水库的死库容与死水位、兴利库容与正常蓄水位、调洪库容与设计洪水位、水电站的保证出力和多年平均发电量等,并确定主要建筑物尺寸,如水库大坝高度、溢洪道尺寸、引水渠道尺寸、水电站的装机容量等然后再经过不同方案(即不同的参数组合)的经济技术和环境评价、论证从而确定最后的设计方案

在施工阶段,主要是研究整个工程施工期的水文问题,如施工期的设计洪水或预报洪水大小、施工导流问题、水库蓄水计划等,从而确定临时建筑物(如围堰、导流隧洞等)的规模尺寸,以及编制工程初期蓄水方案等

在管理运用阶段,需要根据当时的和预报的水文情况,编制工程调度运用计划,以充分发挥工程的效益例如,为了控制有防洪任务的水库,需要进行洪水预报,以便提前腾空库容和及时拦蓄洪水在工程建成以后,还要不断复核和修改设计阶段的水文计算成果对工程进行改造

总之,在开发利用水资源的过程中,为了建好、管好和用好各种水利工程,都必须应用工程水文与水利水电规划的基本知识和原理、方法因此,本学科涉及的研究范围很广

内容丰富，并且还在不断发展之中，有些问题还需进一步探索

在水利水电工程和农业水利技术专业设置该课程的目的，主要是使学生了解我国的水资源特点，掌握河流水文学的基本知识、水文分析计算以及水利水能计算的基本原理方法，具备一定的水文水利能计算能力。本课程与《水力学》、《农田水利学》、《水工建筑物》和《水利经济》等课程联系紧密。

复习思考题

1. 如何理解水资源的涵义和主要特点？
2. 联系实际分析我国水资源的特点
3. 试举例分析水文现象的基本特点
4. 水文现象的研究方法各自出发点有何不同？
5. 查阅有关资料总结水利水电工程的建设程序及其用到的水文学知识

第一章 水分循环及径流形成

第一节 水分循环

一、地球上的水分布

地球的总表面积约为 5.1 亿 km^2 ，水圈内全部水体总储量达 13.86 亿 km^3 。海洋面积 3.61 亿 km^2 ，占地球总表面积的 70.8%；海洋水量为 13.38 亿 km^3 ，占地球总储水量的 96.5%。陆地面积 1.49 亿 km^2 ，占地球总表面积的 29.2%，水量仅为 0.48 亿 km^3 ，占地球总储水量的 3.5%，且大部分在北半球。

在陆地有限的水体中并不全是淡水，淡水量只有 0.35 亿 km^3 ，占陆地水储量的 73%。其中大部分分布于冰川、多年积雪南北两极和多年冻土中，真正便于人类利用的水只是其中一小部分，主要分布在 600m 深度以内的含水层、湖泊、河流、土壤中，如表 1-1 所示。

表 1-1 地球上的水体分布

| 项目 | 水量 (10^6km^3) | 占总水量百分比 (%) | 淡水量 (10^6km^3) | 占总淡水量百分比 (%) |
|-------|------------------------------|----------------|-------------------------------|-----------------|
| 总水量 | 1385.98461 | 100 | 35.02921 | 100 |
| 海洋水 | 1338.0 | 96.5 | | |
| 地下水 | 23.4 | 1.7 | 10.53 | 30.06 |
| 土壤水 | 0.0165 | 0.001 | 0.0165 | 0.05 |
| 冰雪总量 | 24.0641 | 1.74 | 24.0641 | 68.7 |
| 其中：南极 | 21.6 | 1.56 | 21.6 | 61.7 |
| 格陵兰岛 | 2.34 | 0.17 | 2.34 | 6.68 |
| 北极 | 0.0835 | 0.006 | 0.0835 | 0.24 |
| 山岳 | 0.0406 | 0.003 | 0.0406 | 0.12 |
| 冰土地下水 | 0.3 | 0.022 | 0.3 | 0.86 |
| 地表水 | 0.18999 | 0.014 | 0.10459 | 0.3 |
| 其中：湖泊 | 0.1764 | 0.013 | 0.091 | 0.26 |
| 沼泽 | 0.01147 | 0.0008 | 0.01147 | 0.03 |
| 河川 | 0.00212 | 0.0002 | 0.00212 | 0.006 |
| 大气中水 | 0.0129 | 0.001 | 0.0129 | 0.04 |
| 生物内水 | 0.00112 | 0.0001 | 0.00112 | 0.003 |

淡水资源在地球上不仅数量有限，而且分布也极不均匀。如果以年降水量来反映，世

界各大洲水资源分布情况如表 1-2 所示

表 1-2 世界各大洲水资源分布状况

| 洲名 | 面积 (10^6 km^2) | 年降水量 | | 年径流量 | |
|------|-------------------------------|-------|-------------------|-------|-------------------|
| | | (mm) | (km^3) | (mm) | (km^3) |
| 欧洲 | 1 050 | 789 | 8 290 | 306 | 3 210 |
| 亚洲 | 4 347.5 | 742 | 32 240 | 332 | 14 410 |
| 非洲 | 3 012 | 742 | 22 350 | 151 | 4 750 |
| 北美洲 | 2 420 | 756 | 18 300 | 339 | 8 200 |
| 南美洲 | 1 780 | 1 600 | 28 400 | 660 | 11 760 |
| 大洋州 | 133.5 | 2 700 | 3 610 | 1 560 | 2 090 |
| 澳大利亚 | 761.5 | 456 | 3 470 | 40 | 300 |
| 南极洲 | 1 398 | 165 | 2 310 | 165 | 2 310 |
| 地球 | 14 900 | 800 | 119 000 | 315 | 46 800 |

注 * 不包括澳大利亚 但包括塔斯马尼亚岛 新西兰岛和伊里安岛等岛屿

由表可见，世界上水资源最丰富的大洲是南美洲，其中尤以赤道地区水资源最为丰富。水资源较为缺乏的地区是中亚南部阿富汗、阿拉伯和撒哈拉地区西伯利亚和加拿大北部地区因人口稀少，年人均量值相当高澳大利亚的水资源并不丰富就各大洲的水资源相比较而言，欧洲稳定的淡水量占其全部水量的 43%，非洲占 45%，北美洲占 40%，南美洲占 38%，澳大利亚和大洋州占 25%

二、水分循环

地球表面的各种水体，在太阳的辐射作用下，从海洋和陆地表面蒸发上升到空中，并随空气流动，在一定的条件下，冷却凝结形成降水又回到地面。降水的一部分经地面、地下成径流并通过江河流回海洋；一部分又重新蒸发到空中，继续上述过程这种水分不断交替转移的现象称为水分循环，也叫水文循环，简称水循环

水分循环可分为大循环和小循环大循环是指海洋与陆地之间的水分交换过程；而小循环是指海洋或陆地上的局部水分交换过程。比如，海洋上蒸发的水汽在上升过程中冷却凝结形成降水回到海面；或者陆地上发生类似情况，都属于小循环大循环是包含有许多小循环的复杂过程如图 1-1 所示

形成水分循环的原因分为内因和外因两个方面内因是水在常态下有固、液、汽一种状态，且在一定条件下相互转换外因是太阳的辐射作用和地心引力太阳辐射为水分蒸发提供热量，促使液、固态的水变成水汽，并引起空气流动地心引力使空中的水汽又以降水方式回到地面，并且促使地面、地下水汇归入海另外，陆地的地形、地质、土壤、植被等条件，对水分循环也有一定的影响

水分循环是地球上最重要、最活跃的物质循环之一，它对地球环境的形成、演化和人类生存都有着重大的作用和影响。正是由于水分循环，才使得人类生产和生活中不可缺少的水资源具有可恢复性和时空分布不均匀性提供了江河湖泊等地表和地下水资源同时也造成了旱涝灾害，给水资源的开发利用增加了难度

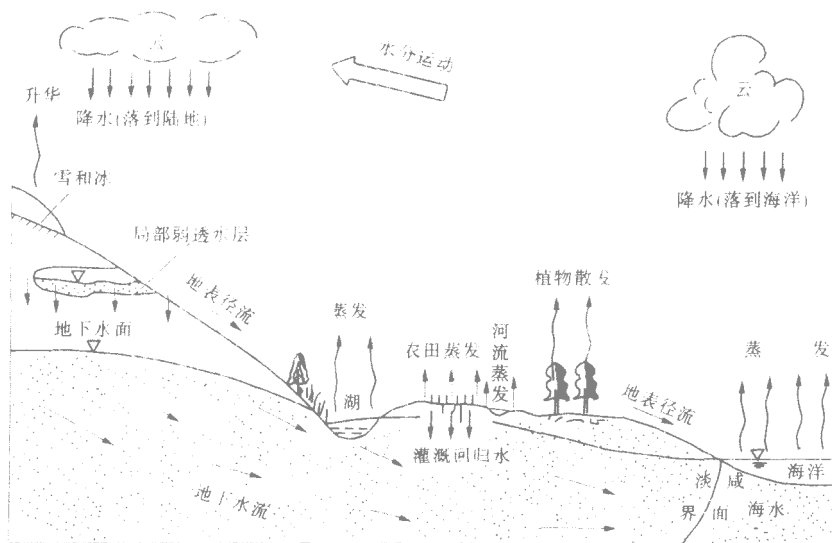


图 1-1 地球上水分循环示意图

三、我国水分循环的路径

我国位于欧亚大陆的东部，太平洋的西岸，处于西伯利亚干冷气团和太平洋暖湿气团的交错带。因此，水汽主要来自太平洋，由东南季风和热带风暴将大量水汽输向内陆形成降水，雨量自东南沿海向西北内陆递减，而相应的大多数河流则自西向东注入太平洋例如长江、黄河、珠江等其次是印度洋水汽随西南季风进入我国西南、中南、华北以至河套地区，成为夏秋季降水的主要源泉之一，径流的一部分自西南一些河流注入印度洋，如雅鲁藏布江、怒江等另一部分流入太平洋大西洋的少量水汽随盛行的西风环流东移，也能参加我国内陆腹地的水分循环北冰洋水汽借强盛的北风经西伯利亚和蒙古进入我国西北，风力大而稳定时，可越过两湖盆地直至珠江三角洲，但水汽含量少，引起的降水并不多，小部分经由额尔齐斯河注入北冰洋，大部分汇归太平洋鄂霍茨克海和日本海的水汽随东北季风进入我国，对东北地区春夏季降水起着相当大的作用，径流注入太平洋。

我国河流与海洋相通的外流区域占全国总面积的 64%，河水不注入海洋而消失于内陆沙漠、沼泽和汇入内陆湖泊的内流区域占 36%。最大的内陆河是新疆的塔里木河。

第二节 河流与流域

一、河流及其特征

(一) 河流

河流是水循环的一个重要环节，是汇集一定区域地表水和地下水的泄水通道，由流动的水体和容纳水流的河槽两个要素构成水流在重力作用下由高处向低处沿地表面的线形凹地流动，这个线形凹地便是河槽河槽也称河床，含有立体概念，当仅指其平面位置

时,称为河道。枯水期水流所占河床称为基本河床或主槽;汛期洪水泛滥所及部位,称为洪水河床或滩地。从更大范围讲,凡是地形低凹可以排泄水流的谷地称为河谷,河槽就是被水流所占据的河谷底部。流动的水体称为广义的径流,其中包含清水径流和固体径流,固体径流是指水流所挟带的泥沙。通常所说径流一般是指清水径流。虽然在地球上的各种水体中,河流的水面面积和水量都最小,但它与人类的关系却最为密切。因此,河流是水文学研究的主要对象。

一条河流按其流经区域的自然地理和水文特点划分为河源、上游、中游、下游及河口五段。河源是河流的发源地,可以是泉水、溪涧、湖泊、沼泽或冰川。多数河流发源于山地或高原,也有发源于平原的。确定较大河流的河源,要首先确定干流。一般是把长度最长或水量最大的叫做干流,有时也按习惯确定,如把大渡河看做岷江的支流就是一个实例。汇入干流的支流叫一级支流;汇入一级支流的称为二级支流;其余依次类推。由干流与其各级支流所构成脉络相通的泄水系统称为水系、河系或河网。水系常以干流命名,如长江水系、黄河水系等。但是干流和支流是相对的。根据干支流的分布状况,一般将水系分为扇形水系、羽状水系、平行状水系和混合型水系,其中前三种为基本类型,如图 1-2 所示。

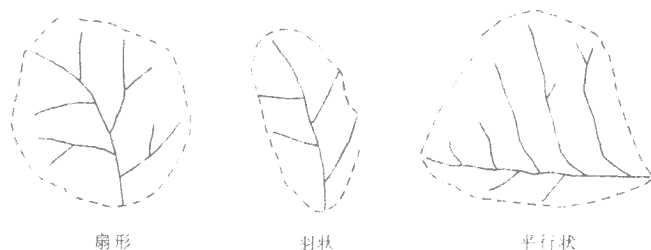


图 1-2 水系形状示意图

划分河流上、中、下游时,有的依据地貌特征,有的着重水文特征。上游直接连接河源,一般落差大,水流急,水流的下切能力强,多急流、险滩和瀑布。中游段坡降变缓,下切力减弱,旁蚀力加强,河道有弯曲,河床较为稳定,并有滩地出现。下游段一般进入平原,坡降更为平缓,水流缓慢,泥沙淤积,常有浅滩出现,河流多汊。河口是河流注入海洋、湖泊或其他河流的地段。内陆地区有些河流最终消失在沙漠之中,没有河口,称为内陆河。

(二) 河流的特征

1. 河流的纵横断面

河段某处垂直于水流方向的断面称为横断面,又称过水断面。当水流涨落变化时,过水断面的形状和面积也随之变化。河槽横断面有单式断面和复式断面两种基本形状,如图 1-3 所示。

将河流各个横断面最深点的连线叫河流中泓线或溪线。假想将河流从河口到河源沿中泓线切开并投影到平面上所得的剖面叫河槽纵断面。实际工作中常以河槽底部转折点的高程为纵坐标,以河流水平投影长度为横坐标绘出河槽纵断面图,如图 1-4 所示。

2. 河流长度

一条河流,自河口到河源沿中泓线量计的平面曲线长度称为河长。一般在大比例尺(如 1:10 000 或 1:50 000 等)地形图上用分规或曲线仪量计;在数字化地形图上可以应用

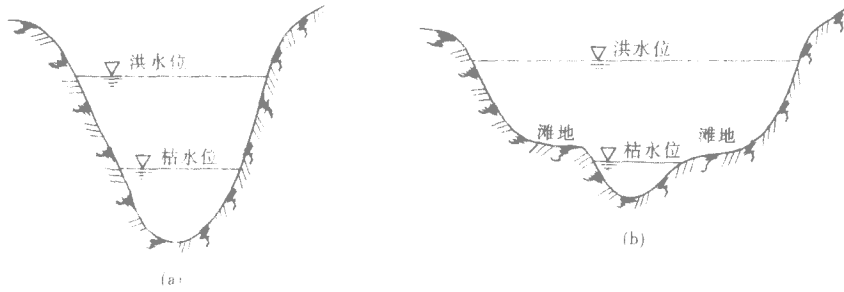


图 1-3 河槽横断面示意图
(a) 单式断面; (b) 复式断面

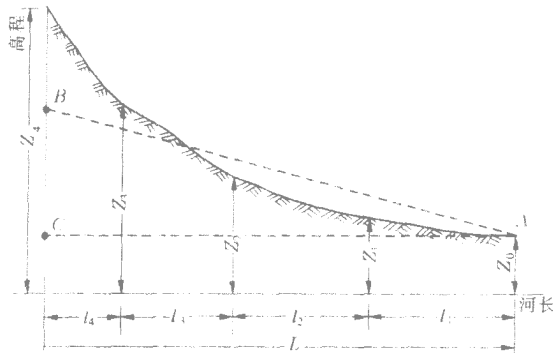


图 1-4 河槽纵断面

有关专业软件量计

3. 河道纵比降

河段两端的河底高程之差称为河床落差，河源与河口的河底高程之差为河床总落差。单位河长的河床落差称为河道纵比降，通常以千分数或小数表示当河段纵断面近似为直线时，比降可按下式计算

$$J = \frac{Z_{\text{上}} - Z_{\text{下}}}{l} = \frac{\Delta Z}{l} \quad (1-1)$$

式中 J ——河段的总比降；

$Z_{\text{上}}、Z_{\text{下}}$ ——河段上、下断面河底高程；

l ——河段的长度

当河段的纵断面为折线时，可用面积包围法计算河段的平均纵比降具体做法是：在河段纵断面图上，通过下游断面河底处向上游作一条斜线，使得斜线以下的面积与原河底线以下的面积相等，此斜线的坡度即为河道的平均纵比降，如图 1-4 所示。计算公式为

$$J = \frac{(Z_0 + Z_1)l_1 + (Z_1 + Z_2)l_2 + \dots + (Z_{n-1} + Z_n)l_n - 2Z_0L}{L^2} \quad (1-2)$$

式中 Z_0, Z_1, \dots, Z_n ——河段自下而上沿程各转折点的河底高程，m；

l_1, l_2, \dots, l_n ——相邻两转折点之间的距离，m；

L ——河段总长度 m

二.流域及其特征

(一) 流域、分水线

河流某一断面以上的集水区域称为河流在该断面的流域当不指明断面时,流域是对河口断面而言的流域的边界与分水线.即实际分水岭山脊的连线.如秦岭是长江与黄河的分水岭降在分水岭两侧的雨水将分别流入两条河流,其岭脊线便是这两大流域的分水线但并不是所有的分水线都是山脊的连线,如在平原地区,分水线可能是河堤或者湖泊等像黄河下淤大堤,便是海河流域与淮河流域的分水岭。

由于河流是汇集并排泄地表水和地下水的通道.因此分水线有地面与地下之分当地面分水线与地下分水线完全重合时,该流域称为闭合流域,否则称为非闭合流域非闭合流域在相邻流域间有水量交换,如图 1-5 所示

实际当中很少有严格的闭合流域.只要当地面分水线和地下分水线不一致所引起的水量误差相对不大时.一般可按闭合流域对待通常工程上认为.除岩溶地区外.一般大中流域均可看成是闭合流域

(二) 流域特征

流域特征包括几何特征、地形特征和自然地理特征

1 流域几何特征

流域的几何特征包括流域面积(或集水面积)、流域长度流域宽度和流域形状系数等

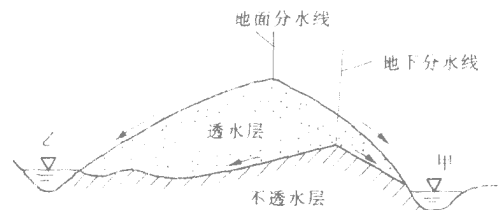


图 1-5 地面与地下分水线示意图

1) 流域面积

流域面积是指河流某一横断面以上,由地面分水线所包围不规则图形的面积.如图 1-6 所示.若不强调断面,则是指流域出口断面以上的面积以 km^2 计一般可在适当比例尺的地形图上先勾绘出流域分水线,然后求积仪或数方格的方法量出其面积.与在数字化地形图上也可以用有关专业软件量计

2) 流域长度

流域长度是指流域几何中心轴的长度对于大致对称的较规则流域,其流域长度可用河口至河源的直线长度来计算:对于不对称流域可以流域出口为中心作若干个同心圆,求得各同心圆圆周与流域分水线交得若干圆弧割线中点,这些割线中点的连线长度即为流域长度。

3) 流域平均宽度

流域平均宽度是指流域面积与流域长度的比值,以 B 表示,由下式计算

$$B = \frac{F}{L} \quad (1-3)$$

式中 F ——流域面积, km^2 ;

L ——流域长度, km

集水面积近似相等的两个流域, L 愈长, B 愈窄小; L 愈短, B 愈宽前者径流难以

集中,后者则易于集中

1) 流域的形状系数

流域的形状系数以 K_f 表示,按下式计算

$$K_f = \frac{B}{L} = \frac{F}{L^2} \quad (1-4)$$

K_f 是一个无单位的系数当 $K_f \approx 1$ 时,流域形状近似为方形; $K_f < 1$ 时流域为狭长形; $K_f > 1$ 时,流域为扁形流域形状不同,对降雨径流的影响也不同。

2. 流域地形特征

流域地形特征可用流域平均高度和流域平均坡度来反映

1) 流域平均高度

流域平均高度的计算可用网格法和求积仪法。网格法较粗略,具体做法是将流域地形图分为 100 个以上网格,如图 1-7 所示内插确定出每个格点的高程,各网格点高程的算术平均值即为流域平均高度求积仪法是在地形图上,用求积仪分别量出分水线内各相邻等高线间的面积 f_i ,用相邻两等高线的平均高程 Z_i ,按下式计算

$$Z = \frac{f_1 Z_1 + f_2 Z_2 + \dots + f_n Z_n}{f_1 + f_2 + \dots + f_n} = \frac{1}{F} \sum_{i=1}^n f_i Z_i \quad (1-5)$$

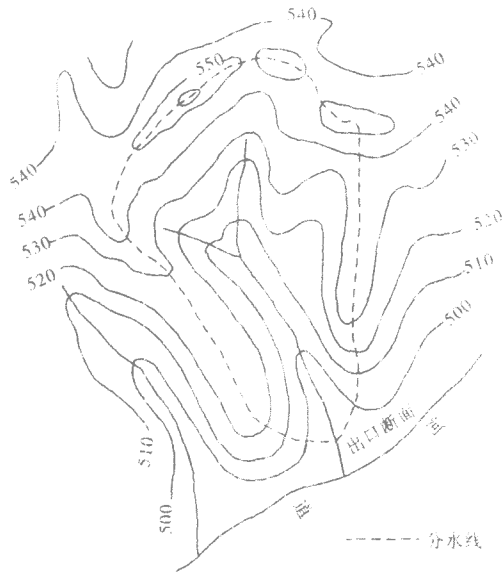


图 1-6 流域分水线和集水面积示意图

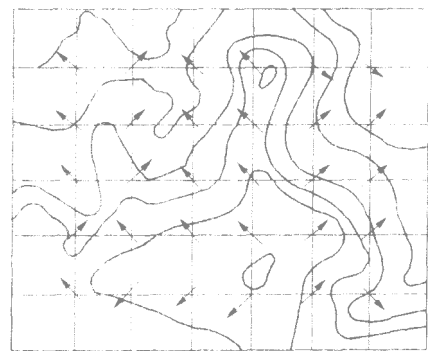


图 1-7 网格法计算流域平均高度、平均坡度

2) 流域平均坡度

流域的平均坡度是指流域表面坡度的平均情况,以 J 表示也可用网格法计算,即从每个网格点作直线与较低的等高线正交,如图 1-7 中的箭头所示,由高差和距离计算各箭头方向的坡度,作为各网格点的坡度,再将各网格点的坡度取算术平均值,即流域的平均坡度另外可以量计出流域范围内各等高线的长度,用 $l_0, l_1, l_2, \dots, l_n$ 表示相邻两条等高线的高差用 Z 表示,按下式计算

$$J_r = \frac{\Delta Z(0.5l_0 + l_1 + l_2 + \dots + 0.5l_n)}{F} \quad (1-6)$$

3) 流域的自然地理特征

流域的自然地理特征包括流域的地理位置、气候条件、地形特征、地质构造、土壤性质、植被、湖泊、沼泽等

(1) 地理位置 主要指流域所处的经纬度以及距离海洋的远近，一般是低纬度和近海地区雨水多，高纬度地区和内陆地区降水少如我国的东南沿海一带雨水就多，而华北、西北地区降水就少，尤其是新疆的沙漠地区更少

(2) 气候条件 主要包括降水、蒸发、温度、风等，其中对径流作用最大的是降水和蒸发

(3) 地形特征 流域的地形可分为山、高原、丘陵、盆地和平原等，其特征可用流域平均高度和流域平均坡度来反映同一地理区，不同的地形特征将对降雨径流产生不同的影响。

(4) 地质与土壤特性 流域地质构造、岩石和土壤的类型以及水理性质等都将对降水形成的河川径流产生影响，同时也影响到流域的水土流失和河流泥沙

(5) 植被覆盖 流域内植被可以增大地面糙率，延长地面径流的汇流时间，同时加大下渗量，从而使地下径流增多，洪水过程变得平缓另外，植被还能减少水土流失，降低河流泥沙含量，涵养水源；大面积的植被还可以调节流域小气候，改善生态环境等植被的覆盖程度一般用植被面积与流域面积之比的植被率表示

(6) 湖泊、沼泽、塘库 流域内的大面积水体对河川径流起调节作用，使其在时间上的变化趋于均匀；还能增大水面蒸发量，增强局部小循环，改善流域小气候通常用湖沼塘库的水面面积与流域面积之比的湖沼率来表示。

以上流域各种特征因素，除气候因素外，都反映了流域的物理性质，它们承受降水并形成径流，且直接影响河川径流的数量与变化，所以水文上习惯称为流域下垫面因素当然，人类活动对流域的下垫面影响也愈来愈大，如人类在改造自然的活动中修建了不少水库、塘堰、梯田，以及植树造林、城市化等，明显地改变了流域的下垫面条件，因而使河川径流发生变化，影响到水量与水质。在人类活动的影响中也有不利的一面，如造成水土流失、水质污染以及河流断流等

第三节 降水

降水是水分循环的一个重要环节，也是陆地水资源的主要补给来源，因此降水是最为重要的气象因素降水是指空气中的水汽以液态或固态形式从大气到达地面的各种水分的总称通常表现为雨、雪、雹、霜、露等，其中最主要的形式是雨和雪在我国绝大部分地区，影响河流水情变化的是降雨因此，在这里我们重点研究降雨

一、降雨的成因与分类

地球周围的大气层由于所处的位置不同，各处的温度和湿度分布不均匀，大气压力也不同，使得空气由高压区向低压区流动，处在不断运动之中，这便产生了刮风等一系列的

天气现象在气象上把水平方向物理性质（温度、湿度、气压等）比较均匀的大块空气叫气团。气团按照温度的高低又可分为暖气团和冷气团。一般暖气团主要在低纬度的热带或副热带洋面上形成。冷气团则在高纬度寒冷的陆地上产生。当带有水汽的气团上升时，由于大气的气压下降，上升的空气体积不断膨胀，消耗内能，使空气在上升过程中冷却（称为动力冷却），降温。空气中的水汽随着气温的降低而凝结。凝结的内核是空气中的微尘、烟粒等。水汽分子凝结成小水滴后聚集成云。小水滴继续吸附水汽，并受气流涡动作用相互碰撞而结合成大水滴。直到其重量超过上升气流顶托力时则下降成雨。因此，降雨的形成必须要有两个基本条件：一是空气中要有一定量的水汽；二是空气要有动力上升冷却。因此，按照空气上升冷却的原因，将降雨分为锋面雨、地形雨、对流雨和台风雨四种类型。

（一）锋面雨

当冷气团与暖气团在运动过程中相遇时，其交界面（实际上为过渡带）叫锋面。锋面与地面的相交地带叫锋。一般地面锋区的宽度有几十公里，高空锋区的宽度可达几百公里。锋面雨便是在锋面上产生的降雨。按照冷暖气团的相对运动方向将锋面雨分为冷锋雨和暖锋雨。

（1）冷锋雨。当冷气团向暖气团一方移动，二者相遇，因冷空气较重而楔入暖气团下方，迫使暖气团上升，形成冷锋而致雨，就是冷锋雨。如图 1-8(a) 所示。冷锋雨一般强度大，历时短，雨区范围小。

（2）暖锋雨。若冷气团相对静止，暖气团势力较强，向冷气团一方推进，二者相遇，暖气团将沿界面爬升于冷气团之上，形成降雨，叫暖锋雨。如图 1-8(b) 所示。暖锋雨的特点是强度小，历时长，雨区范围大。

（二）地形雨

暖气团在运移途中，遇到山脉、高原等阻碍，被迫上升冷却而形成的降雨，叫地形雨。如图 1-9(a) 所示。地形雨多发生在山的迎风坡。由于水汽大部分已在迎风坡凝结降落，而且空气过山后下沉时温度增高，因此背风坡雨量锐减。地形雨一般随高程的增加而增大。其降雨历时较短，雨区范围也不大。

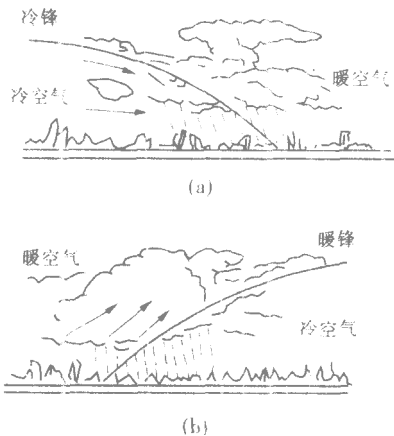


图 1-8 锋面雨示意图

(a)冷锋雨；(b)暖锋雨

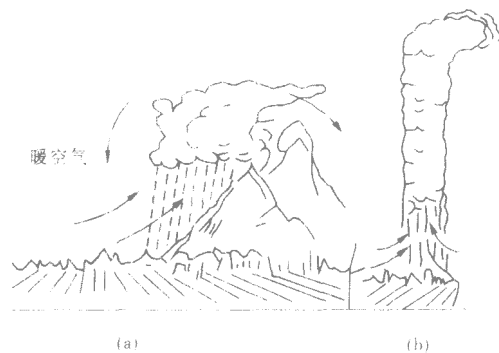


图 1-9 地形雨和对流雨示意图

(a)地形雨；(b)对流雨

(三)对流雨

在盛夏季节当暖湿气团笼罩一个地区时,由于太阳的强烈辐射作用,局部地区因受热不平衡而与上层冷空气发生对流作用,使暖湿空气上升冷却而降雨,叫对流雨。如图 1-9 (b)所示。这种雨常发生在夏季酷热的午后,其特点是强度大、历时短、降雨面积分布小,常伴有雷电,故又称为雷阵雨。

(四)台风雨

台风雨是由热带海洋上的风暴带到大陆上来的狂风暴雨。影响我国的热带风暴主要发生在 6~10 月,以 7、8、9 三个月最多。它们主要形成于菲律宾以东的太平洋洋面(约在北纬 20°,东经 130°附近),向西或向西北方向移动,影响东南沿海和华南地区各地,若势力很强则可影响到燕山、太行山、大巴山一线。台风雨是一种极易形成洪涝灾害的降雨,加之狂风,破坏性极强。如 1975 年 8 月,该年第三号台风登陆后,深入到河南省泌阳县林庄一带,造成非常罕见的大暴雨,中心最大 24 小时降雨量为 1 060.3mm,最大 3 日降雨量达 1 605.3mm,在淮河流域形成大洪水,给人民生命财产造成巨大损失。

在以上四种类型中,锋面雨和台风雨对我国河流洪水影响较大。其中锋面雨对大部分地区影响显著,各地全年锋面雨都在 60%以上,华中和华北地区超过 80%,是我国大多数河流洪水的主要来源。台风雨在东南沿海诸省,如广东、海南、福建、台湾、浙江等省发生机会较多,由台风造成的雨量占全年总雨量的 20%~30%,且极易造成洪水灾害。

此外,根据我国气象部门的规定,按照 1h 或 24h 的降雨量将降雨分为:

小雨:是指 1h 的雨量 $\leq 2.5\text{mm}$ 或 24h 的雨量 $< 10\text{mm}$ 。

中雨:是指 1h 的雨量为 2.6~8.0mm 或 24h 的雨量为 10.0~24.9mm。

大雨:是指 1h 的雨量 8.1~15.9mm 或 24h 的雨量 25.0~49.9mm。

暴雨:是指 1h 的雨量 $\geq 16\text{mm}$ 或 24h 的雨量 $\geq 50\text{mm}$ 。

二、点降雨特性及其分析方法

所谓点降雨量通常是指一个雨量观测站承雨器(口径为 20cm)所在地点的降雨点降雨的特性可用雨量、历时和雨强等特征量以及雨量、雨强在时程上的变化来反映。

(一)点降雨特性

1. 降雨量

降雨量是指一定时段内降落在单位水平面积上的雨水深度,单位用 mm 表示,计至 0.1mm。在标明降雨量时一定要指明时段,常用的降雨时段有分、时、日、月、年等,相应的雨称为时段雨量、日雨量、月雨量、年雨量。

2. 降雨历时

降雨历时是指一场降雨从开始到结束所经历的时间,常以小时为单位。与降雨历时相应的还有降雨时段它是人为规定的。对某一场降雨而言,为了比较各地的降雨量大小,可以人为指定某一时段降雨量作标准。如最大 1h 降雨量、6h 降雨量、24h 降雨量等这里的 1h、6h、24h 即为降雨时段。但在降雨时段内,降雨并不一定连续。

3. 降雨强度

降雨强度是指单位时间内的降雨量,单位以 mm/min 或 mm/h 计。