

河流流速分布特性及其影响因素分析

耿庆功 陈志远

黄河水利委员会河南水文水资源局 河南 济源 454650

摘要: 河流流速是河流动力学中的重要参数,其分布特性及其影响因素对于河流的水资源管理和生态保护具有重要意义。本文旨在探讨河流流速的分布规律及其影响因素,以期对相关研究和应用提供参考。

关键词: 河流流速;分布特性;影响因素

引言

河流流速是指单位时间内河水通过某一截面的水流量。河流的流速在不同地区和不同季节之间会发生变化,这些变化受到多个因素的影响。了解河流流速的分布特性及其影响因素,对于河流的水资源管理和生态保护具有重要意义。

1 河流流速分布特性

1.1 流速分布类型

在自然界中,河流的流速分布并非单一均匀,而是随着水深、河床形态、水流强度以及边界条件的变化而展现出多样化的分布模式。特别是在二维均匀流这一理想化模型中,尽管假设水流在水平方向上保持均匀一致,但在垂直方向上,由于重力、床面阻力及水流内部紊动等因素的作用,流速分布展现出明显的分层特征。

(1) 直线层

直线层,又称黏性底层或层流区,位于河流底部的最底层。在这一区域内,水流受到河床的直接摩擦作用最为显著,水流分子间的黏性力占据主导地位,导致水流呈现出层流状态。层流意味着水流分层流动,各层之间互不干扰,流速沿水深方向呈线性变化,即流速从河床表面的零值逐渐增加,形成一条直线分布。这一层的厚度通常较薄,尤其在高流速或粗糙河床条件下更为显著。

(2) 过渡层

随着水深增加,水流逐渐从层流状态过渡到紊流状态,这一过渡区域被称为过渡层。在过渡层中,水流既保留了部分层流特性,又开始出现紊流的特征。流速分布在这一层中不再是简单的直线关系,而是逐渐转变为对数曲线分布的前奏^[1]。这种转变是由于水流中的紊动涡体开始增多,它们对水流产生扰动,使得流速分布变得更加复杂。过渡层的存在是水流从有序向无序状态转变的重要标志,也是理解河流流速分布不均匀性的关键。

(3) 对数区

对数区是河流流速分布中最具代表性的区域,也是

紊流充分发展的区域。在这一区域内,流速分布遵循对数定律,即流速与水深之间的对数关系明显。这种分布模式是由水流内部的紊动涡体充分发展、相互碰撞和能量交换所致。对数区的流速分布不仅反映了水流内部的动态平衡,也是河流工程设计和水力计算中常用的理论基础。在这一层中,流速随水深增加而增大,但增速逐渐放缓,形成了一条平滑的对数曲线。

(4) 外层区

外层区位于河流流速分布的最上层,是水流受到上部边界条件(如水面波动、风的影响)和上游来流条件共同作用的区域。在这一层中,流速分布不仅受到河床形态和床面阻力的影响,还显著受到外部环境的干扰。因此,外层区的流速分布更加复杂多变,难以用简单的数学公式描述。外层区的存在提醒我们,在河流流速分布的研究中,必须考虑边界条件的复杂性和动态性,以及它们对流速分布的深远影响。

1.2 垂线流速分布

垂线流速分布作为河流流速分布研究中的核心环节,对于揭示河流内部水流结构、评估河床演变及指导水利工程建设具有重要意义。在宽深比较大的冲积河流环境中,由于河流宽度远大于其深度,水流在水平方向上的变化相对较小,因此河道水流的流速分布往往近似于二维明渠流的状态。这种情境下,二维明渠均匀流流速分布公式成为了描述垂线流速分布的有效工具,它帮助我们量化不同水深处的流速差异,进而理解整个河流系统的水力特性。垂线流速分布的形态多样且复杂,其变化形态直接反映了河流内部水流动力学的复杂性。常见的垂线流速分布形态包括“上大下小”型、“3”型、“C”型等,这些形态的出现与多种因素紧密相关,如河床的地形起伏、河道的弯曲程度、水流强度以及边界条件的差异等。例如,“上大下小”型分布通常出现在河床较为平坦、水流较为平稳的河段,表明水面附近的水流速度较快,而接近河床底部的水流速度则相对较慢。

此外，“3”型分布往往与河道的弯曲或局部水流加速有关，反映出水流在河道中的不均匀分布特性。而“C”型分布则可能出现在河床形态复杂、水流受到较多阻碍的河段，表明水流在垂向上存在显著的流速梯度。除了上述形态外，垂线流速分布还可能呈现“1”型、“S”型、“7”型、“反S”型和“反C”型等多种形态，这些形态的变化不仅丰富了我们对于河流流速分布的认识，也为河流工程的设计与管理提供了更为精细的数据支持。通过深入研究垂线流速分布的形态及其成因，我们可以更好地理解河流的动态变化过程，为河流的可持续利用和保护提供科学依据。

2 河流流速影响因素分析

2.1 地形和水势

地形与水势作为塑造河流流速的关键要素，其影响深远且复杂。河流的上游区域，紧邻发源地，通常坐落于高耸的山脉或丘陵地带。这里的地势陡峭，河床因长期水流侵蚀而呈现出V形，这种地形特征使得水流在重力作用下加速下泄，形成了较快的流速。上游河段往往狭窄且蜿蜒，水流在此受限，进一步加剧了流速的提升。此外，上游地区由于地势高耸，常常成为水源的汇集地，水量充沛，也为快速流动提供了充足的动力。相较于上游的激流勇进，河流下游则展现出一番截然不同的景象。下游通常位于平原或低洼地区，地势相对平坦，河床形态也逐渐由V形转变为U形。这种地形变化导致水流速度明显放缓，因为水流在更宽广的河道中得以分散，且地势落差小，水流的动力自然减弱^[2]。下游河道的宽阔与平坦，使得水流更加平稳，流速相应降低。除了地形特征外，河流的宽度、水量以及含沙量也是影响流速的重要因素。在下游平原地区，河流宽度通常较大，这导致水流在河道中更加分散，动力减弱，流速自然减慢。同时，河流水量的多少也直接影响着流速。水量大时，水流更加湍急；水量小时，则水流平缓。此外，河流中的含沙量也会影响流速。含沙量高的河流，泥沙颗粒对水流的阻碍作用明显，会减缓流速；而含沙量低的河流，水流则更为顺畅。

2.2 水源供给

水源供给作为调控河流流速的另一大关键要素，其多样性与稳定性直接关乎河流的动态特征。河流的水源补给方式多样，主要包括雨水、积雪融雪、冰川融冰以及地下水等，每种补给方式都对河流的流速产生着独特的影响。对于以雨水为主要补给的河流，其流速的季节性变化尤为显著。在雨季，随着降水量的激增，河流的径流量迅速增加，水流变得湍急，流速相应提升。而在

旱季，降水量减少，河流径流量随之缩减，水流变得平缓，流速则相应降低。这种随季节变化的流速特征，使得以雨水补给为主的河流在洪水期与枯水期之间呈现出截然不同的流速景观。对于依赖积雪融雪和冰川融冰补给的河流，其流速的变化则更多地受到气温的调控。在温暖季节，随着气温的升高，积雪和冰川逐渐融化，释放出大量的水源，使得河流径流量增加，流速加快。而在寒冷季节，气温降低，融雪和融冰过程减缓甚至停止，河流径流量减少，流速也相应减缓。这种由气温驱动流速变化，赋予了这类河流独特的季节节律。相较于前两种补给方式，以地下水为主要补给的河流则展现出更为稳定的流速特征。地下水作为稳定可靠的水源，其补给量受季节变化的影响较小。因此，这类河流的径流量和流速相对稳定，不会因季节的更迭而产生显著的波动。这种稳定性为河流生态系统的平衡提供了有力的支撑，也使得以地下水补给为主的河流成为人类活动和水资源利用的重要基础。

2.3 水流阻力

水流阻力，作为河流流速变化中不可或缺的一环，其细微变化都能对河流的动态特征产生显著影响。在河流的流动过程中，水流与河床、河岸之间的相互作用构成了阻力，这一阻力的大小直接影响着水流的顺畅程度与速度。当河流流经狭窄的河道或遇到突起的河床障碍物时，水流阻力显著增加。这是因为狭窄的河道限制了水流的扩散空间，使得水流在有限的空间内被迫加速通过，从而增加了流速。同时，河床上的石块、沙砾等障碍物也会阻碍水流的顺畅流动，增加水流与河床之间的摩擦阻力，进一步促使流速的提升。这种因河道狭窄或障碍物存在而导致的流速增加，是河流自然形态与水流动力学特性的直接体现。相反，当河流进入宽广的河道或流经平坦的河床时，水流阻力则相应减小。宽广的河道为水流提供了充足的扩散空间，使得水流能够更为平缓地流动，流速自然降低^[3]。此外，平坦的河床减少了水流与河床之间的摩擦阻力，使得水流更加顺畅，进一步减缓了流速。这种因河道宽广或河床平坦而导致的流速减慢，是河流在流经不同地形地貌时流速变化的自然结果。通过调整河流的截面积或河道宽度，可以有效地调节水流阻力，进而实现对河流流速的精细调控。例如，在防洪工程中，通过拓宽河道或修建导流堤等措施，可以降低水流阻力，减缓流速，从而减轻洪水对下游地区的威胁。在河流生态修复中，通过恢复河流的自然形态和生态结构，可以增加水流阻力，促进水流的多样化流动，为水生生物提供更为适宜的生存环境。

2.4 气候与降水量

气候与降水量，作为自然界中最为直接且显著的影响因素，对河流流速的塑造起着至关重要的作用。它们通过调节地表径流的生成与分布，进而影响河流的水量与流速，为河流的动态变化提供了源源不断的驱动力。在湿润或多雨的气候条件下，降雨量显著增加，这为河流提供了丰富的水源补给。大量的雨水迅速汇聚成地表径流，沿着山坡和河谷奔腾而下，汇入河流之中。随着水流量的急剧增加，河流的截面面积也随之扩大，水流在更宽广的空间内流动，但受到河床形态和水流动力学的约束，流速往往会随之提升。这种由降雨量增加引发的流速加快现象，在暴雨或洪水期间尤为明显，河流仿佛被注入了新的活力，奔腾不息。反之，在干旱或少雨的气候条件下，降雨量大幅减少，河流的水源补给受到限制。地表径流减弱，河流的水量相应减少，截面面积缩小。在这种情况下，水流在狭窄的河道内流动，虽然受到的水流阻力可能增加，但由于水量的减少，流速往往会减慢。干旱时期的河流，往往显得平静而缓慢，失去了往日的汹涌澎湃。气候与降水量的变化，不仅直接影响着河流的流速，还通过改变河流的水量、水质和生态环境，对河流的生态系统产生深远的影响。因此，在研究河流流速的变化时，必须充分考虑气候与降水量的影响，以及它们与其他因素的相互作用。只有全面、深入地理解这些影响因素及其作用机制，我们才能更好地保护和管理河流资源，实现人与自然的和谐共生。

2.5 植被覆盖程度

植被覆盖程度，作为河流生态系统中的一个关键要素，对河流流速的影响不容小觑。在土壤条件相似的前提下，植被的茂密程度直接关联着河流的水量与流速，成为调节河流动态特征的重要“绿色开关”。植被通过其茂密的枝叶和根系，能够有效地保持土壤水分，减少水分的蒸发和地表径流的产生。在植被覆盖率高的地区，雨水被植被吸收并储存在土壤中，形成了一层天然的水库。当土壤达到饱和状态时，多余的水分才会缓慢

地渗出，形成地表径流，最终汇入河流。这一过程不仅延缓了水流的速度，还增加了河流的水量。因此，在植被茂密的区域，河流往往能够保持较高的水位和流量，流速也相应增加^[4]。植被对河流流速的影响还体现在其对河流形态和河床结构的塑造上。植被的根系能够稳固土壤，减少水土流失，从而保持河床的稳定。在植被覆盖良好的河流段，河床通常较为宽阔且平坦，水流在此得以顺畅流动，流速相对稳定。而在植被稀疏或裸露的河段，河床容易受到侵蚀和淤积，形态多变，水流也因此变得湍急或缓慢。然而，值得注意的是，植被对河流流速的影响并非一成不变。在极端气候条件下，如暴雨或干旱，植被的调节作用可能会受到限制。暴雨时，即使植被茂密，也可能无法完全吸收和储存所有的雨水，导致地表径流激增，河流流速加快。而干旱时，植被可能会因缺水而枯萎，其对土壤水分的保持作用减弱，河流流量和流速也会相应减少。

结语

河流流速分布特性及其影响因素复杂多样，包括地形和水势、水源供给、水流阻力、气候与降水量、植被覆盖程度等多种因素。了解这些因素对河流流速的影响，有助于我们更好地理解和管理河流的水资源，促进生态保护和可持续发展。未来，随着科技的发展和研究的深入，我们将能够更精确地预测和控制河流流速，为水资源管理和生态保护提供更加科学的依据。

参考文献

- [1]王俊,倪志辉,吴立春,等.山区河流垂线流速分布类型的分形研究[J].水运工程,2018,(11):131-137.
- [2]黄靖轩,陶涛,孙小双,等.桥墩阻水比对弯道河流流速分布的影响[J].科学技术与工程,2022,22(22):9781-9789.
- [3]崔科超,李云武,武千森,等.基于山溪性河流水面流速系数分析[J].陕西水利,2024,(10):40-43.
- [4]潘维艳,杨姗姗,刘俊锋,等.基于温度示踪的河流潜流带地下水流速研究[J].中国农村水利水电,2023,(02):121-127.