

黄河源区弯曲河群分布与形态及边界条件

汤 韬¹,李志威^{1,2}

(1. 长沙理工大学水利工程学院,湖南 长沙 410114; 2. 水沙科学与水灾害防治湖南省重点实验室,湖南 长沙 410114)

摘要:黄河源区发育众多的弯曲河流,从上游至下游依次形成4个弯曲河群:玛多-达日草原、若尔盖盆地、甘南草原和黄南草原弯曲河群。结合遥感影像与野外调查,研究黄河源弯曲河群的空间分布、形态特征及边界条件,结果表明:黄河源弯曲河群的河曲带宽度大于1000 m的支流都属于若尔盖盆地弯曲河群,最宽为黑河(3300 m),其次是白河(2500 m),且牛轭湖分布最广泛的地区也在若尔盖盆地;平均坡降最大的是玛多-达日弯曲河群(0.022),最小的是若尔盖盆地弯曲河群(0.009);平均弯曲度最大的是若尔盖盆地弯曲河群(1.67),最小的是玛多-达日弯曲河群(1.19);弯曲河群的平均坡降与弯曲度大致呈负相关关系;弯曲河群的边界条件是滨河植被作用下的二元河岸物质,其上层为根土复合体,下层为非黏性砂层或卵石夹砂层。

关键词:弯曲河流;河群;空间分布;形态特征;边界条件;黄河源

中图分类号:TV147

文献标志码:A

文章编号:1006-7647(2020)01-0010-07

Distribution, planform and boundary conditions of meandering river groups in source region of Yellow River// TANG Tao¹, LI Zhiwei^{1,2} (1. School of Hydraulic Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, China; 2. Key Laboratory of Water-Sediment Sciences and Water Disaster Prevention of Hunan Province, Changsha 410114, China)

Abstract: There are many meandering rivers in the source region of the Yellow River. From the upstream to the downstream, four meandering river groups can be identified, including Maduo-Dari grassland, Zoige basin, Gannan grassland and Huangnan grassland. Combined with remote sensing imagery and field investigation, the spatial distribution, planform characteristics and boundary conditions of the meandering rivers were studied. The results show that the meander belts of the tributaries of the meandering river groups in the Yellow River source greater than 1000 m in width all belong to the Zoige river group. The widest meander belt is the Black River (3300 m), followed by the White River (2500 m), where oxbow lakes are well developed. The Maduo-Dari meandering river group has the largest mean channel slope (0.022) while the Zoige river group has the smallest mean slope (0.009). The average sinuosity is largest for the Zoige river group (1.67) and is smallest for the Maduo-Dari river group (1.19). The mean channel slope of the meandering river groups is roughly negatively correlated with the average sinuosity. Boundary condition of the meandering river groups is composed of two-layer composite materials due to riparian vegetation. The upper layer is soil-root complex and the lower layer is non-cohesive silt-sand or gravel-sand layer.

Key words: meandering river; river group; spatial distribution; morphological characteristics; boundary condition; source region of Yellow River

弯曲河流是地球表面分布最广和形态最美的冲积河型,具有蜿蜒曲折的形态、周期性的演变和广泛的适应性。弯曲河流广泛发育于冲积平原、干旱或半干旱草原、热带雨林、极地冻土、沙漠边缘,甚至在冰原、深海、火星也有非冲积弯道的行踪或遗迹^[1-3],是自然河流的内禀性质之一。近60余年以来激起众多国内外学者持续探究其发育条件、形态特征、形

成原因、弯道水流、泥沙输移、演变规律和裁弯机理等诸多问题。弯曲河流在世界各地分布广泛,如南美的亚马孙河、美国的密西西比河、我国的渭河、辽河、荆江、汉江、塔里木河和黄河源等^[1,3,4]。

黄河源区冲积河谷的地势较平坦,高寒草原、草甸和泥炭广泛分布,如黄南草原、甘南草原和若尔盖湿地;弯曲河流多,如兰木错曲、吉曲、贾曲、白河、黑

基金项目:国家自然科学基金(51709020, 51979012);湖南省科技重大专项(2018SK1010)

作者简介:汤韬(1995—),男,硕士研究生,主要从事河流流体力学研究。E-mail: tangtao1720@163.com

通信作者:李志威(1984—),男,副研究员,博士,主要从事河流流体力学研究。E-mail: lzhwei2009@163.com

2 黄河源区弯曲河群的分布

弯曲河群是指在某个地区具有相同弯曲河型,且不会相互干扰的支流或者具有从属关系的干支流,由这些河流所组成的河群即为弯曲河群^[3]。本文主要针对我国黄河源区的弯曲河群。通过遥感影像的解译与实地考察表明,黄河源区存在4个弯曲河群,沿黄河干流自上而下依次为玛多-达日弯曲河群(a)、若尔盖盆地弯曲河群(b)、甘南草原弯曲河群(c)、黄南草原弯曲河群(d)。统计河流总数为206条,各河群包含河流数依次为31、114、26、31条,其中数量最多、空间分布最广、形态特征最复杂的是若尔盖盆地弯曲河群。4个弯曲河群是黄河源的重要自然河流特征,可以从中等空间尺度分析河群内部弯曲河流的共同特性与边界条件。

黄河源区的地形变化趋势明显,从东向西海拔高程逐渐降低(从6254 m下降至2509 m)。扎陵湖至沙曲区段存在众多山谷,绝大部分支流为辫状河流或者山谷限制性河流(图2)。但是仍然有一小部分支流随着河谷变宽,河曲带也变宽,这些支流在靠近黄河干流时发展成为弯曲河流,比如东曲、多曲、勒那曲、吉曲吉昂等支流,其弯曲河流分布相对分散,大多集中在玛多到达日河段,多为山体限制性弯曲河流,共同组成玛多-达日弯曲河群。夏容曲至黑河区段弯曲河流发育较好,数量较多。在以白河、黑河及其众多支流为主的若尔盖盆地,形成了若尔盖盆地弯曲河群。

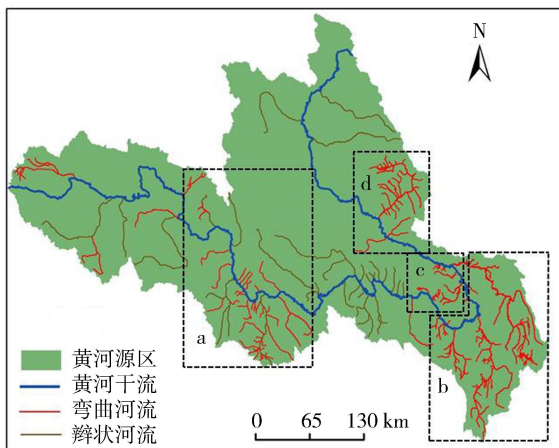


图2 黄河源区的弯曲河流分布

兰木错曲至龙羊峡水库段,除主要由泽曲及其二级支流与相邻流域的兰木错曲、永曲等共同组成的黄南草原弯曲河群外,主要是山谷限制性河流和少数辫状河流。在甘肃省西南部,由大夏河和洮河的支流共同组成了甘南草原弯曲河群,主要分布在玛曲、夏河、碌曲,此弯曲河群仅有一部分分布在黄

河源区域内,主要在弯曲第一弯内侧的泥炭湿地和高寒草甸地区。

玛多-达日弯曲河群沿黄河干流分布,相比其他3个弯曲河群来说更为分散,从上游至下游,左岸包括扎曲、优尔曲等,右岸包括约古宗列曲、多曲、勒那曲、黑河曲、夏曲、柯曲和吉曲等。玛多-达日弯曲河群的特点是由黄河干流的主要支流组成,与辫状河流混合,是一个较分散的弯曲河群(图3(a))。

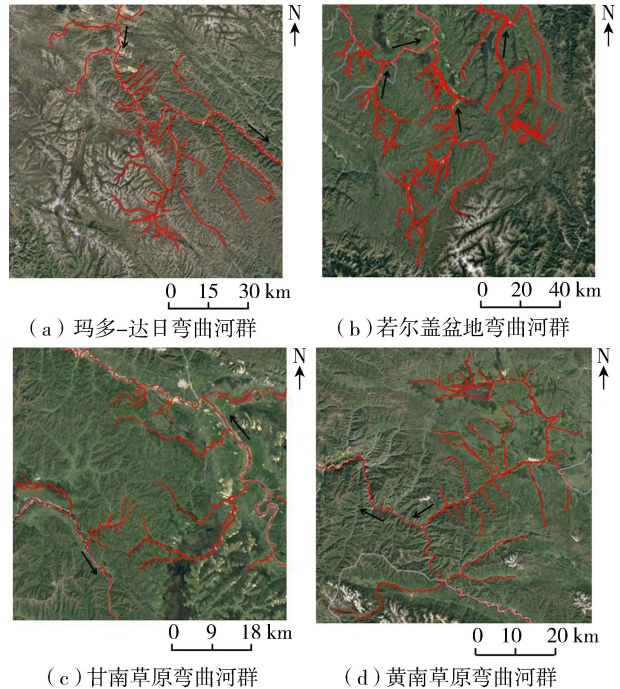


图3 黄河源弯曲河群

若尔盖盆地弯曲河群,主要分布于四川的若尔盖、红原和阿坝县,是黄河源的最小的弯曲河群,分布于黄河干流的右岸,从上游至下游依次是夏容曲、贾曲、达日曲、沃木曲、白河、玛尔莫曲、合纳曲和黑河(图3(b))。以白河的弯曲支流从上游至下游有朗米曲、岔布枕曲、龙日曲、达青曲、阿木曲、佐曲、欧木涅曲等。黑河作为若尔盖盆地的最大弯曲河流水系,从上游至下游有德纳合曲、格曲、哈曲、麦曲、热曲、达水曲等,主要分布于若尔盖县城以上,其下游只有少量弯曲河流(如达水曲)。若尔盖盆地弯曲河群是以黑河和白河的干流与支流的弯曲河流为主,还包括少量黄河干流沿程支流,即以相互独立的干流与支流共同组成弯曲河群。

黄南草原位于黄河一弯下游的右岸,面积约为1.27万 km²,海拔在3500 m以上,其弯曲河群以泽曲为主流,泽库县的上游段主要的弯曲支流有左岸的多切河、日俄冬曲和夏德日河,右岸的则曲,河南县的下游段主要的弯曲支流有左岸的浩斗曲、措火日曲,右岸的切儿切河、下五曲、干马儿曲、洞五曲,以及相邻流域的赛欠曲、沃合特曲、兰木错曲和永曲

等,共同组成一个弯曲河群(图3(c))。甘南草原的弯曲河群多为干支流的弯曲河流,也包括少量相邻流域独立的黄河一级支流。

甘南草原位于甘肃省西南部,南临四川,西接青海,面积约为2.51万km²,主要分布在甘肃省西南部的玛曲、夏河、碌曲三县。这里地处青藏高原东北部边缘,以高寒阴湿的高寒草甸草原为主,海拔多在3000m以上,年平均降水量600~810mm,年平均气温4℃。甘南草原地处青藏高原的东北边缘,地形复杂,地势西高东低。地貌可分高山草原区、高山森林区和低山丘陵区。在黄河源区域内的甘南草原弯曲河群,主要分布于弯曲第一弯内侧的泥炭湿地和高寒草甸地区,从上游至下游包括赛尔曲、贡曲、尔则曲、纳艾曲、唐迪曲、娘伊曲、朗曲、姚达尔曲、纳尔玛曲、那合地曲等,而且黄河干流有局部河段也是弯曲河道(图3(d))。甘南草原弯曲河群基本都是黄河干流的支流,弯曲河流的长度和宽度都较小。

3 弯曲河群的形态特征

3.1 河曲带宽度

对 Google Earth 影像上清晰可辨的黄河自扎陵湖至龙羊峡 97 条弯曲河流的干流和支流进行统计分析(图4),发现河曲带宽度超过1000m的弯曲河流有贾曲、白河、黑河、热曲。自黄河出扎陵湖之后直至沙曲,20条支流的河曲带都较狭窄,其中河曲带宽度最大为787m,最小为50m。这主要是因为沿程左侧的阿尼玛卿山和右侧的巴颜喀拉山对黄河源支流起到明显的限制作用,弯曲河流只能在山谷里发展。

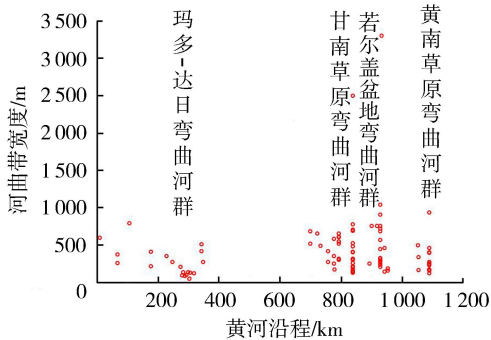


图4 弯曲河群的河曲带宽度

在玛多-达日弯曲河群,山谷是限制这些河流自由发展最主要的因素。在以白河、黑河及其众多支流为主的若尔盖盆地,其地形为冲积平原,坡降比之前要小,适合弯曲河流的发育,形成了若尔盖盆地弯曲河群,河曲带宽度超过1000m的弯曲河流都在其中。在这中间最具有代表性的就是黑河和白河,河曲带宽度分别为3300m和2498m,河群平均河曲带

宽度为565m,是4个河群中最大的。2016年7月实地考察发现,该冲积平原的主要植被是高寒草甸,上层为草本,中间为较厚的泥炭层(0.5~3.0m),下层为湖相的粉沙,夹杂河流相的粗沙或卵石,有层理结构。较小坡降的平原、充足的水量及发育的滨河植被使得该地区发育大量的弯曲河流,形成弯曲河群。

位于黄河弯曲第一弯内侧的黄南草原弯曲河群主要由黄河干流的一级支流组成,河流发育与某些若尔盖盆地的河流类似,但是由于地形原因,河曲带宽度相比若尔盖盆地的河流较小,未形成河曲带宽度大于1000m的河流。从兰木错曲往下游走,基本地貌为山地,因此主要是山谷限制性河道。在泽曲处形成的黄南草原弯曲河群,其河曲带宽度比之前的两大弯曲河群都要窄,除了泽曲的河曲带宽度为936m外,各二级支流的河曲带宽度的平均值仅有253m。黄南草原的弯曲河流形态蜿蜒,滨河草甸密集,属于典型的草甸型弯曲河流。

3.2 牛轭湖分布

对 Google Earth 影像上清晰可辨的黄河自扎陵湖至龙羊峡 97 条弯曲河流牛轭湖分布及临界裁弯情况统计,结果如图5所示。玛多-达日弯曲河群的牛轭湖数量普遍偏低,所有弯曲河流的牛轭湖数量均小于40,其原因仍然与两侧山脉的限制有关。相比之下黄南草原弯曲河群和甘南草原弯曲河群的牛轭湖数量略大,当黄河流至若尔盖盆地时,在广阔的冲积平原上发育众多的弯曲河流,相对平坦和开阔的地形是弯曲河流发展的重要因素。由于有着适合弯曲河流发育的地形条件,若尔盖盆地弯曲河群的牛轭湖数量普遍较多,其中数量最多的河流是黑河,

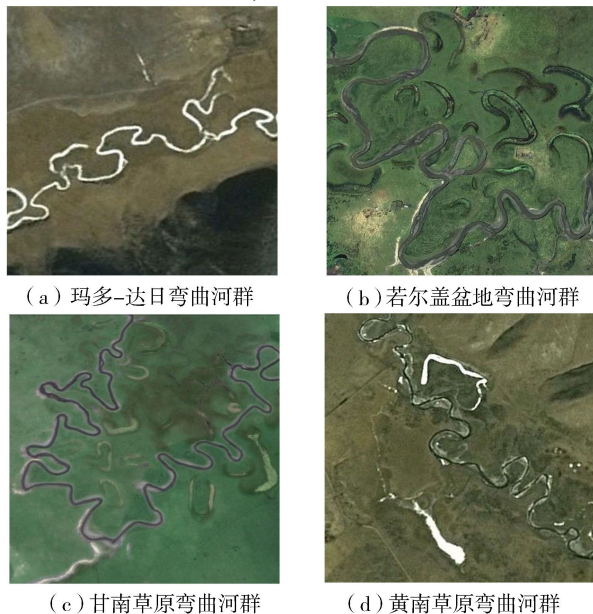


图5 典型牛轭湖的遥感影像

牛轭湖数量达到 284, 排在其后三位的是黑河的支流哈曲、格曲和德讷河曲, 牛轭湖数量分别为 177、168 和 124。此外, 若尔盖盆地弯曲河群的临近裁弯口数量也比其他 3 个河群多。

临近裁弯口的数量可反映弯曲河流生成牛轭湖的速率, 在单位时间内, 临近裁弯口越多, 牛轭湖生成速率也越快。在黄河进入沙曲之后的冲积平原上牛轭湖数量大量增加(图 6), 牛轭湖为草原和湿地储存了一定的水资源, 有利于若尔盖草原与湿地的生态环境保护。

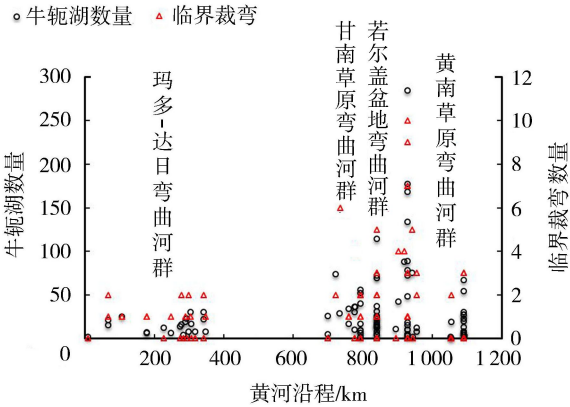


图 6 弯曲河群的牛轭湖与临界裁弯数量统计

3.3 河道平均弯曲度

河道平均弯曲度和河道比降是弯曲河流的重要形态参数, 通过黄河源弯曲河群 206 条河流的统计和计算, 得到各弯曲河流的弯曲度和比降的关系(图 7)。若尔盖盆地的弯曲河道平均弯曲度最大, 为 2.36; 而玛多-达日弯曲河群的平均弯曲度普遍较小, 平均仅为 1.19。4 个弯曲河群的最小弯曲度均接近, 约为 1.11, 但是若尔盖盆地弯曲河群的弯曲度平均值最大, 其次是黄南草原、甘南草原、玛多-达日弯曲河群, 这说明若尔盖盆地弯曲河群发育最好, 同时其弯曲度变化范围也最宽(1.11 ~ 2.36)。玛多-达日弯曲河群的河道比降平均最大且每条河流差异性较大, 河道比降变化很大(0.002 ~ 0.05), 这主要是因为该河群分布在海拔 4000 m 以上的地区。其次是黄南草原弯曲河群, 有少数弯曲河流的比降超过 0.03, 而若尔

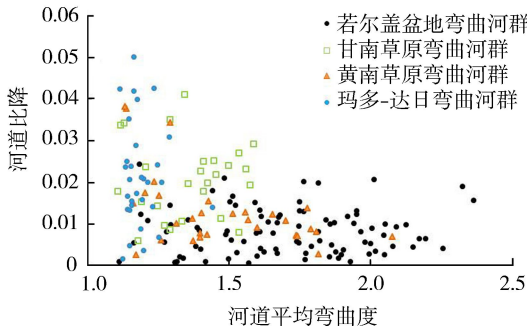


图 7 弯曲河群的河道平均弯曲度与河道比降的关系

盖盆地弯曲河群和甘南草原弯曲河群比降都较小且有相似的变化规律。若尔盖盆地弯曲河群的最大河宽是其他 3 个弯曲河群的 1.9 ~ 4.1 倍, 而最小河宽相差不大, 同样地 4 个弯曲河群的平均河宽接近(表 1)。

表 1 弯曲河群的形态参数

弯曲河群	最大弯曲度	最小弯曲度	平均弯曲度	最大坡降	最小坡降	平均坡降	平均出口宽度/m
玛多-达日	1.44	1.12	1.19	0.050	0.002	0.022	12.14
若尔盖盆地	2.36	1.11	1.67	0.024	0.001	0.009	9.40
甘南草原	2.07	1.21	1.65	0.028	0.001	0.011	15.57
黄南草原	2.08	1.13	1.49	0.038	0.002	0.013	9.65

4 弯曲河群的边界条件

黄河源弯曲河群的地表覆盖主要是高寒草甸、湿地和草原, 因此弯曲河群的来沙量较少, 主要来自坡面过程和崩岸入河的泥沙, 既有粗颗粒推移质, 也有细颗粒悬移质。弯曲河流在发育过程中, 水流冲刷和侵蚀凹岸, 并在凸岸发生淤积。一般认为, 弯曲河流河型的影响因素有水沙条件、床沙粒径、河床比降、滨河植被等, 但对于黄河源弯曲河流, 最主要的边界条件是滨河植被作用下的河岸二元结构物质组成。为了探究河群之间的异同, 对 4 个弯曲河群进行滨河植被和河岸组成归类(表 2)。

表 2 黄河源滨河植被种类及河岸物质组成

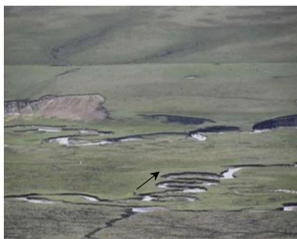
弯曲河群	滨河植被种类	河岸物质组成
玛多-达日	茂密的草和稀疏的灌木	卵石河床、少量黏土
若尔盖盆地	少量草本、灌木混合	表层草本+较厚泥炭层+湖相粉沙、卵石
甘南草原	高寒草甸、树木	草本+黏土+卵石夹沙
黄南草原	草本	草本+黏土及细沙+卵石

黄河源的弯曲河流主要有 3 种: 泥炭型弯曲河流、草甸型弯曲河流以及玛曲干流、白河和黑河干流中下游流域的草原型弯曲河流。泥炭型弯曲河流主要分布在若尔盖盆地, 弯曲度高, 裁弯形式全为颈口裁弯(图 8(a), 麦曲)。泥炭型河岸上层为草本, 中间为泥炭层较厚, 下层为湖相的粉沙, 夹杂河流相的粗沙或卵石, 有层理结构。抵抗近岸水流侵蚀主要依靠河岸的泥炭层和土体能力, 植被作用可忽略, 崩岸形式为悬挂式张拉破坏。具体来说, 洪水期水流淘刷泥炭层下部的粉沙层, 直至泥炭层被破坏后, 倾倒在河岸坡角, 对河岸具有一定的保护作用, 特别在中低水位, 迫使水流远离近岸。因此, 黄河源若尔盖盆地弯曲河群的麦曲、格曲、热曲、哈曲等属泥炭型弯曲河流的支流, 依靠由高强度泥炭层和湖相粉沙组成的二元结构抵抗水流冲刷, 维持河岸稳定。

草甸型弯曲河流河岸上层为密集的草本, 中间

为黏土和细沙层,下层为卵石层,其广泛分布于甘南草原,如兰木错曲、泽曲、吉曲等(图8(b),兰木错曲),弯曲度高,裁弯全为颈口裁弯,少量为斜槽裁弯。其滨河植被多为高寒草甸,这类植被根系发达,与土体结合形成紧密的根土复合体,具有很强的抗剪和抗冲能力。其次,上部根土复合层崩落入河后贴附于坡脚,可减小近岸流速以保护近岸土体受水流直接冲刷。在洪水期,植被的存在能增加水流阻力,截留细颗粒泥沙,抑制凹岸冲刷,同时对凸岸的淤积也起到关键作用。故对草甸型弯曲河流而言,弯曲河型的稳定依赖于由紧密的根土复合体和卵石夹沙组成的二元结构河岸。

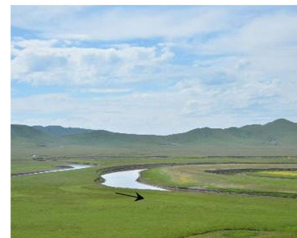
对于玛曲干流、白河和黑河干流中下游的草原型弯曲河流(图8(c),黑河下游河段),弯曲度高,裁弯多为颈口裁弯,极少为斜槽裁弯。凹岸上层为草本根系层,河岸物理组成为湖相的粉沙和河流相的粗沙或卵石,有层理结构,抵抗近岸水流侵蚀主要依靠河岸土体自身的抗冲能力,上层植被根系具有一定作用,崩岸形式为剪切破坏。这类河流基本为河宽较大的干流,河型维持较稳定。



(a) 泥炭型



(b) 草甸型



(c) 草原型

图8 黄河源弯曲河流类型

5 结 论

a. 基于弯曲河群的概念,发现黄河源区发育4个弯曲河群,即玛多-达日草原、若尔盖盆地、甘南草

原、黄南草原的弯曲河群,其中数量最多、空间分布最广、形态特征最多样的河群是若尔盖盆地弯曲河群。

b. 黄河源4个弯曲河群中平均坡降最大的是玛多-达日河群(0.022),最小的是若尔盖盆地河群(0.009);平均弯曲度最大的是若尔盖盆地河群(1.67),最小的是玛多-达日河群(1.19)。弯曲河群的平均坡降与弯曲度大致呈负相关关系。

c. 黄河源弯曲河群的边界条件主要是不同滨河植被作用下河岸二元结构物质组成。泥炭型弯曲河流的河岸,由高强度泥炭层和湖相粉沙组成。草甸型弯曲河流的河岸由紧密的草甸根土复合体和卵石夹沙组成。草原型弯曲河流的河岸由草本根土复合体和湖相的粉沙和河流相的粗沙或卵石组成。

参考文献:

- [1] LI Zhiwei, YU Guoan, BRIERLEY Gary, et al. Migration and cutoff formation of meanders in hyper-arid environments of the middle and lower Tarim River, Northwestern China [J]. *Geomorphology*, 2017, 276: 116-124.
- [2] SHRODER J. *Treatise on Geomorphology* [M]. San Diego: Academic Press, 2013.
- [3] 李志威,余国安,徐梦珍,等. 青藏高原河流演变研究进展[J]. *水科学进展*, 2016, 27(4): 617-628. (LI Zhiwei, YU Guoan, XU Mengzhen, et al. Progress in studies on river morphodynamics in Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Advances in Water Science*, 2016, 27(4): 617-628. (in Chinese))
- [4] 刘桢,刘成,冀自青,等. 黄河源区弯曲河流滨河植被与河湾迁移的关系[J]. *水利水电科技进展*, 2018, 38(2): 57-61. (LIU An, LIU Cheng, JI Ziqing, et al. Relationship between riparian vegetation and migration of a meandering river in the Yellow River Source Region [J]. *Advances in Science and Technology of Water Resources*, 2018, 38(2): 57-61. (in Chinese))
- [5] 朱海丽,李志威,胡夏嵩,等. 黄河源草甸型弯曲河流的悬臂式崩岸机制[J]. *水利学报*, 2015, 46(7): 836-843. (ZHU Haili, LI Zhiwei, HU Xiasong, et al. Cantilever bank failure mechanism of meadow meandering river in the Yellow River source region [J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2015, 46(7): 836-843. (in Chinese))
- [6] 吴新宇,李志威,胡旭跃,等. 弯曲河流颈口裁弯不同阶段水流运动特性[J]. *水利水电科技进展*, 2019, 39(1): 21-27. (WU Xinyu, LI Zhiwei, HU Xuyue, et al. Hydrodynamic characteristics of neck cutoff process of different stages in a meandering river [J]. *Advances in Science and Technology of Water Resources*, 2019, 39

- (1): 21-27. (in Chinese))
- [7] 王随继. 黄河流域河型转化现象初探[J]. 地理科学进展, 2008, 27(2):10-17. (WANG Suiji. Discussion on themechanism of rivermeandering [J]. Progress in Geography, 2008, 27(2): 10-17. (in Chinese))
- [8] 李志威, 王兆印, 李艳富, 等. 黄河源区典型弯曲河流的几何形态特征[J]. 泥沙研究, 2012 (4): 11-17. (LI Zhiwei, WANG Zhaoyin, LI Yanfu, et al. Planform geometry characteristics of typicalmeandering rivers in Yellow River Source[J]. Journal of Sediment Research, 2012 (4): 11-17. (in Chinese))
- [9] JING Hefang, LI Chunguang, GUO Yakun, et al. Numericalmodeling of flow in continuous bends from Daliushu to Shapotou in Yellow River[J]. Water Science and Engineering, 2014, 7(2): 194-207.
- [10] BLUE B, BRIERLEY G. Geodiversity in the Yellow River Source Zone [J]. Journal of Geographical Sciences, 2013, 23(5): 775-792.
- [11] YU Guoan, BRIERLEY G, HUANG Heqing, et al. An environmental gradient of vegetative controls upon channel planform in the source region of the Yangtze and Yellow Rivers[J]. Catena, 2014, 119: 143-153.
- [12] MICHELI E R, KIRCHNER J W. Effects of wet meadow riparian vegetation on stream bank erosion. 1. remote sensingmeasurements of stream bank migration and erodibility[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2010, 27(6): 627-639.
- [13] 李志威, 王兆印, 田世民, 等. 黄河源区水沙变化及与气温变化的关系[J]. 泥沙研究, 2014 (3): 28-35. (LI Zhiwei, WANG Zhaoyin, TIAN Shimin, et al. Variation of streamflow and sediment discharge rate and relationship with temperature change in Yellow River source area[J]. Journal of Sediment Research, 2014 (3): 28-35. (in Chinese))
- [14] 王莺, 李耀辉, 孙旭映. 气候变化对黄河源区生态环境的影响[J]. 草业科学, 2015, 32(4): 539-551. (WANG Ying, LI Yaohui, SUN Xuying. Impact of climate change on the eco-environment in the Yellow River Source[J]. Pratacultural Science, 2015, 32(4): 539-551. (in Chinese))
- [15] 刘希胜, 李其江, 段水强, 等. 黄河源区径流演变特征及其对降水的响应[J]. 中国沙漠, 2016, 36(6): 1721-1730. (LIU Xisheng, LI Qijiang, DUAN Shuiqiang, et al. Runoff change and responses to precipitation in the source regions of the Yellow River[J]. Journal of Desert Research, 2016, 36(6): 1721-1730. (in Chinese))
- [16] 张懿铨, 刘林山, 摆万奇, 等. 黄河源地区草地退化空间特征[J]. 地理学报, 2006, 61(1): 3-14. (ZHANG Yili, LIU Linshan, BAI Wanqi, et al. Grassland degradation in the source region of the Yellow River[J]. Acta Geographica Sinica, 2006, 61(1): 3-14. (in Chinese))
- [17] 白路遥, 荣艳淑. 气候变化对长江、黄河源区水资源的影响[J]. 水资源保护, 2012, 28(1): 46-50. (BAI Luyao, RONG Yanshu. Impacts of climate change on water resources in source regions of Yangtze River and Yellow River[J]. Water Resources Protection, 2012, 28(1): 46-50. (in Chinese))
- [18] 杨肖丽, 郑巍斐, 林长清, 等. 基于统计降尺度和 SPI 的黄河流域干旱预测[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2017, 45(5): 377-383. (YANG Xiaoli, ZHENG Weifei, LIN Changqing, et al. Prediction of drought in the Yellow River based on statistical downscale study and SPI [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2017, 45(5): 377-383. (in Chinese))
- [19] 杨涵苑, 李志威. 黄河源泥炭型弯道悬臂式崩岸模型研究[J]. 水力发电学报, 2018, 37(11): 85-96. (YANG Hanyuan, LI Zhiwei. Modeling cantilever bank collapse of peat-type meandering channel in Yellow River source region [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2018, 37(11): 85-96. (in Chinese))
- [20] 李志威, 刘晶, 胡世雄, 等. 中国冲积大河的河型分布与成因[J]. 水利水电科技进展, 2017, 37(2): 7-13. (LI Zhiwei, LIU Jing, HU Shixiong, et al. Distribution and formation of river patterns of large alluvial rivers in China [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2017, 37(2): 7-13. (in Chinese))
- [21] 马琼芳, 燕红, 李伟, 等. 吉林省湿地生态系统服务价值评估 [J]. 水利经济, 2019, 37(3): 67-71. (MA Qiongfang, YAN Hong, LI Wei, et al. Evaluation of wetland ecosystem services in Jilin Province [J]. Journal of Economics of Water Resources, 2019, 37(3): 67-71. (in Chinese))
- [22] 陈睿哲, 马骏. 骆马湖湿地生态服务功能价值评估研究 [J]. 水利经济, 2018, 36(6): 62-65. (CHEN Ruizhe, MA Jun. Evaluation of values of ecosystem services in wetland of Luoma Lake [J]. Journal of Economics of Water Resources, 2018, 36(6): 62-65. (in Chinese))
- [23] 苏程佳, 陈晓宏. 一种基于 Google Earth 影像的河道地形数据提取方法 [J]. 水资源保护, 2019, 35(2): 80-84. (SU Chengjia, CHEN Xiaohong. A new method for extracting river terrain data based on Google Earth image [J]. Water Resources Protection, 2019, 35(2): 80-84. (in Chinese))
- [24] 李想, 李志威, 胡旭跃, 等. 若尔盖盆地黑河的牛轭湖沿程变化与形态特征 [J]. 水利水电科技进展, 2017, 37(6): 19-24. (LI Xiang, LI Zhiwei, HU Xuyue, et al. Analysis on morphological features of oxbow lakes along Heihe River in Zoige Basin [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2017, 37(6): 19-24. (in Chinese))

(收稿日期:2018-12-04 编辑:郑孝宇)