

长江河源地区河流水文特性分析*

吴 凯 刘彩棠 王广德

(中国科学院地理研究所)

提 要

本文简要介绍了青藏高原长江河源地区冰川、冻土和地质构造对水系发育和河况的影响,初步分析了该地区河流的径流、洪水、枯水、水温 and 冰情的变化规律。文中着重阐明河流洪水形成的基本特征,并据观测资料和洪水调查资料,探讨了百年一遇洪峰流量的分布规律,该成果可供长江河源地区铁路、公路桥涵设计参照使用。

一、自然地理概况

长江河源地区是指楚玛尔河口以上的通天河上段源流区,位于东经 $90^{\circ}30'$ ~ $95^{\circ}20'$ 、北纬 $32^{\circ}30'$ ~ $35^{\circ}50'$ 。北有昆仑山脉,南有唐古拉山脉,西自乌兰乌拉山、祖尔肯乌拉山,东至巴颜喀拉山,全区面积约107,140平方公里(图1)。

本区地形开阔,地势高耸,西高东低,地面高程一般都在海拔5,000米上下,其间还横列着一些相对高程为数百米的山地,如风火山、开心岭等。昆仑山、唐古拉山发育有规模不大的现代冰川(属于大陆性冰川类型)。冰川以下的高原山丘为多年冻土地区(属于中纬度高海拔型衔接性多年冻土),冻土厚度一般为30~70米(表1)²⁾。由于地表冻土力学和热力学的作用,形成了融冻滑坍、冻胀斑土、冻胀裂缝、寒冻石流、冻融坍陷凹地等地貌现象。

本区在构造上属于青藏滇缅印尼“歹”字型构造体系的一部分。“歹”字型构造控制着水系的发育。源于唐古拉山诸峰的沱沱河与当曲各支流汇集于山脉北缘的断陷盆地,作扇形排列。而囊极巴拢至楚玛尔河口的通天河上段,循着构造线方向,左岸支流自西北向东南汇入,右岸支流则自东南向西北反向汇入,构成别具一格的平行水系³⁾。

本区深居中亚大陆中部,属于典型高寒大陆性气候,其特点是:气温低(年平均气温 $-4.1\sim-5.6^{\circ}\text{C}$,为青藏高原的冷区^[1]);冻结期长(每年10月至次年4月);降水少而集中(年降水量为251~376毫米,7~8月降水量可达全年的55.3%)多风(每年 ≥ 8 级的大风有90~150天);气压低(年平均气压为562~584毫巴)、空气含氧量少(仅为海平面的57%)(表2)。

本文1982年1月4日收到,1982年10月7日收到修改稿。

* 1) 蒙青海省气象局宛正颐、青海省水文总站赵传贤和我所刘恩宝、张家骥等协助收集资料,特此致谢。

2) 青海省地质局第一水文地质工程地质队,青藏公路沿线多年冻土的发育特征,1977年。

3) 史立人,长江江源地区的河流及其发育,长江流域规划办公室长江水利水电科学研究院,1980年。

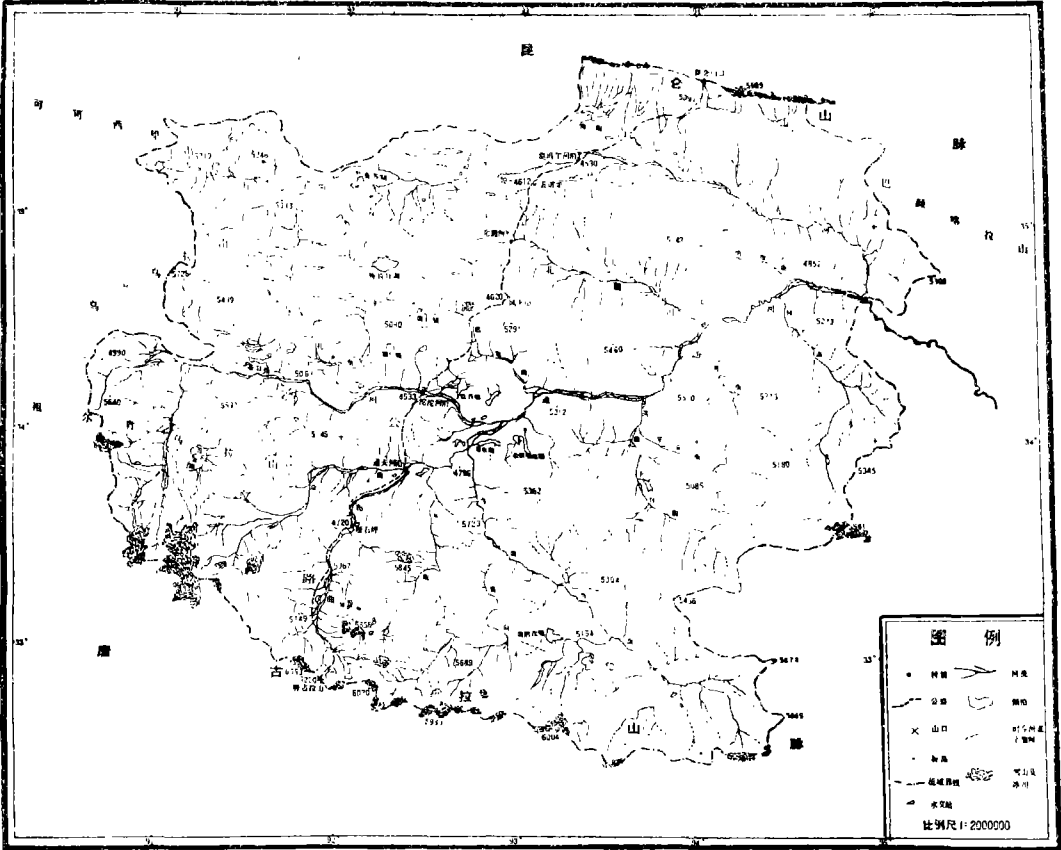


图 1 长江河源地区水系图

Fig.1 Map of stream systems in the riverhead area of the Yangtze River.

表 1 长江河源地区多年冻土简况表

Tab.1 Distribution of frozen soil in the riverhead area of the Yangtze River.

测 点	海 拔 (米)	纬 度	多年平均 气 温 °C	多年平均 地面温度 °C	冻土测温 °C 深度(米)	冻土上限 (米)	冻土下限 (米)	备 注
不 冻 泉	4585.64	35°40'			-0.2	3.2	55.0	
楚玛尔河	4507.52	35°21'	-6.2			3.2	32.0	
伍 道 梁	4659.2	35°17'	-5.8		-2.7 8	3.0	68.0	
风火山北麓 (10号泵站)	4619.53	34°27'	-6.6	-4.3		约2.0	12.56	靠近构造融区
沱沱河南	4592.26	33°57'	-4.4	-0.8		2.9	50.0	
老 温 泉	4894.61	33°13'	-4.1			约3.0	约88.0	

表 2 长江河源地区气候特征值统计表
Tab.2 Climatic characteristics in the riverhead area of the Yangtze River.

测 站	海拔 (米)	日照 时数 (小时)	气 温			降 水			蒸发 (毫米)	气压 (毫巴)	统计年份
			年平均 (°C)	最热月 (七月) (°C)	< -3°C的 月 份	年降 水量 (毫米)	6~9月占 全年的%	7~8月占 全年的%			
楚玛尔河	4530	2682				251	88.9	59.1	1649		1959~81
伍道梁	4612	2663	-5.6	5.5	每年10月 至次年4月	267	85.5	53.3	1397	577.5	1957, 59~81
沱沱河	4533	2811	-4.2	7.5	每年10月 至次年4月	280	87.2	55.3	1667	584.1	1957, 59~81
得列楚卡									1929		1961~62
雁石坪	4720					376	86.1	53.8	1540		1961~81
温 泉	约4889	2629	-4.1	7.0	每年10月 至次年4月	365	86.8	54.8	1505	562.2	1957~61

二、河道特征

长江河源地区的河流，主要可归纳为沱沱河、当曲、楚玛尔河三大分支和通天河上游段。

沱沱河是长江正源，发源于唐古拉山脉中段各拉丹冬雪山群（主峰海拔6,621米）。各拉丹冬雪山的姜根迪如峰南侧冰川融水为长江的源流，它汇合北侧冰川融水成为东支水流，然后与来自杂恰迪如岗雪山的西支水流汇合称纳钦曲，北流纳切苏美曲后始称沱沱河，它穿过祖尔肯乌拉山后，于江塔曲口折转东流，穿过青藏公路，最后于囊极巴拢处与当曲汇合。从源头到囊极巴拢，长358公里，流域面积为16,949平方公里，河床平均比降为2.69‰^{3)[2]}。沱沱河河源至江塔曲口段为源头山区段，河段长为132公里，河床比降为5.45‰，河道顺直；江塔曲口至河口段为宽谷游荡段，河段长为226公里，砂砾河床，平均比降为1.39‰，河槽宽浅多汊，变化频繁，是高平原上较典型的宽谷游荡型河流³⁾。流域内湖泊、洼地较多。

长江南源当曲，发源于唐古拉山东段霞舍日啊巴山（5,395米）东麓。地下水从地表松散的覆盖层下流出称多朝能，它与扎西格君合流后称旦曲，西流纳笔阿能始称当曲，它曲折穿行于连片沼泽湿地，经60公里方出，曲波波以下，水流折转向北，穿过巴茸浪纳山区的峡谷后，与布曲相会，后转向北东，最后于囊极巴拢处与沱沱河汇合。当曲全长357公里，流域面积为30,219平方公里，河床平均比降为1.62‰。当曲的支流中有布曲（河长为242公里，流域面积为13,165平方公里）和次级支流尕尔曲（河长为167公里，流域面积为4,755平方公里）等^{3)[2]}。

长江北源楚玛尔河，发源于可可西里山黑脊山（5,432米）南麓。源头有东、西两支，合流后向东流，经叶鲁苏湖，进入楚玛尔盆地，穿过青藏公路，转向东南，最后汇入通天河。全长530公里，流域面积为20,909平方公里，河床平均比降为1.27‰^{3)[2]}。楚玛尔河流经楚玛尔盆地段时，河谷开阔、河槽宽浅、水流散乱，流域内多湖泊和沼泽。

沱沱河与当曲合流后称通天河，其上段（囊极巴拢至楚玛尔河口）长285公里，区间面积为33,826平方公里，河床平均比降为0.89%。该河段除马日给峡、牙哥峡等为峡谷河道外，其余多具分汉游荡性质³⁾。

三、径 流

长江河源地区仅有四个水文站，均沿青藏公路布设，其中，楚玛尔河站偏居该河上游，代表性不足。各站多年平均流量的统计成果见表 3。

表 3 长江河源地区河流流量统计表
Tab.3 Discharge of the rivers in the riverhead area of the Yangtze River.

河 流	测 站	流域 面积 (平方 公里)	月 平 均 流 量 (米 ³ /秒)												年平均 流量 (米 ³ / 秒)	统计 年份
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
楚玛尔河	楚玛尔河	7371	0.439	0.086	0.064	1.14	3.29	4.16	11.42	1.82	5.71	14.2	4.71	2.03	7.46	1959~ 80
沱沱河	沱沱河	14867	0.465	0.229	0.310	5.91	14.9	33.1	72.7	101	59.9	17.3	3.60	1.35	26.1	1960~ 81
尕尔曲	得列楚卡	4755	0.008	0	0	4.12	9.85	31.3	74.6	117	34.5	11.2	3.07	0.560	24.1	1961~ 62
布 曲	雁石坪	4248	5.50	5.60	5.86	7.11	9.08	25.7	67.0	84.1	53.6	17.6	8.47	5.30	24.7	1960~ 62, 64 ~81

本区河流的径流模数有自南向北递减的趋势（雁石坪为5.81，沱沱河为1.76，楚玛尔河为1.01分米³/秒·平方公里），这一规律与其降水特征是一致的。

由表 3 可知，本区河流一般 6~9 月为洪水期，11~4 月为枯水期，年内分配极不均匀，洪水期径流量高达全年的70.8~90.0%，仅 7~8 两月就占全年的37.9~67.6%。

径流的年际变化，可用年际极值比表示。沱沱河、布曲的年际极值比为 2~5，楚玛尔河竟达94（表 4），可见楚玛尔河径流的年际变化很大。

表 4 长江河源地区径流年际变化统计表
Tab.4 The long-term fluctuation of the runoff in the riverhead area of the Yangtze River.

测 站	实 测 最 大		实 测 最 小		年际极值比	统 计 年 份
	流 量 (米 ³ /秒)	年 份	流 量 (米 ³ /秒)	年 份		
楚玛尔河	16.9	1966	0.18	1979	93.89	1959~80
沱 沱 河	45.6	1961	8.89	1979	5.13	1960~81
雁 石 坪	35.4	1981	14.7	1979	2.41	1960~62, 64~81

四、洪 水

(一) 大中河流的洪水

长江河源地区大中河流洪水形成的基本特征大致可归纳为：以降水为主的混合补给型；洪水主要受大天气系统的降水所控制；暴雨损失较小以及河网调蓄作用较大等〔3〕。

以降水为主的混合补给型。本区河流流域平均高度大，有冰川、冻土分布（表5），因此，洪水具有降水、高山积雪、冰川融化和冻土融化的混合补给特征。由布曲雁石坪的降水、气温和洪水的对应资料分析可知，降水是形成洪水的主要来源，而高山积雪、冰川融化的补给对洪峰流量的影响不大⁴⁾。通过水文站洪水过程线资料的分析，发现高山积雪、冰川融化补给量有随流域平均高度的增加而增多的趋势，但其量不到洪峰流量的5%，而冻土融化补给则增加了基流量。

表 5 长江河源地区大中河流补给特征统计表

Tab.5 Characteristics of river feeds in the riverhead area of the Yang tze River.

河 流	测 站	流域平均 高 度 (米)	冰川积雪 面 积 (平方公里)	冻 土		冰川积雪融化量 (米 ³ /秒)		基流量 (米 ³ /秒)
				厚 度 (米)	融区宽度 (米)	平 均	最 大	
楚玛尔河	楚玛尔河	4879		25~32		3		0~10
沱 沱 河	沱 沱 河	4987	670	18~21	875	40	90	30
布 曲	雁 石 坪	5091	270	18~48		40	75	30

洪水主要受大天气系统的降水所控制。本区盛夏降水主要有四种天气系统，即西风槽切变、切变、低涡切变和南支槽切变等〔3〕〔4〕，这种降水笼罩面积大、持续时间长、降水量变化呈斑点（多个暴雨中心）状态⁴⁾。长时段（6~168小时）降水的统计成果表明：强度衰减指数较小，而降水不均匀系数则较大。

暴雨损失较小。在终年积雪的山峰和坡地、沟谷的多年冻土层上，降水到达地表后，水量不渗透，而沿冰川、多年冻土层表面流入河网；在二级阶地以上与终年积雪的山峰、坡地之间的中间地带，当夏季气温升高时，冻土表层融化，在持续降水的条件下，多呈饱和状态，水流沿浅层与饱和地表注入河槽；而分布在二级阶地以下的冲积、洪积和坡积区（基本上为融区和贯穿融区）才是暴雨损失的主要地区⁴⁾，这就是说，由于冰川与冻土的分布，使得流域的暴雨损失较小，亦即径流系数较大。

河网调蓄作用较大。由于冻土的存在和强烈的融冻作用，使得本区河流河谷开阔、河槽宽浅、水流分汊，流域内热融湖泊、热融凹地较多，因此，坡地、河网调蓄作用较大，经计

4) 铁道部第一设计院二总队科研队、中国科学院地理研究所、铁道部科学研究院西南研究所，青藏高原雁石坪观测站观测资料分析报告，1978年。

算，河网调蓄系数可达0.70~0.55。

前已提及，本区大中河流一般 6~9 月为洪水期，最大月（8 月）平均径流量可占全年的 24.9~41.3%（表 3）。洪峰流量模数有自南向北递减（雁石坪为 61.0，沱沱河为 21.7，楚玛尔河为 12.8 分米³/秒·平方公里）、年际变化加剧（年际极值比雁石坪为 5，沱沱河为 10，楚玛尔河为 72）的趋势。经统计，本区大中河流设计洪峰流量如表 6 所列。百年一遇洪峰流量的地区变化规律如图 2 所示。^{〔1〕}该图系按 1975、76 年本区 29 个主要河段的洪水调查分析资料和水文站实测洪峰流量的频率计算成果，经地区综合分析而定，可供本区大中河流桥涵设计参照使用。

表 6 长江河源地区设计洪峰流量统计表

Tab.6 Results of the estimation of flood peak discharge in the riverhead area of the Yangtze River.

测 站	设计洪峰流量 (米 ³ /秒)				统计年份
	P = 1 %	P = 2 %	P = 5 %	P = 20 %	
楚玛尔河	368	318	251	148	1959~81
沱 沱 河	1059	934	760	483	1959~81
雁 石 坪	606	546	469	339	1960~81

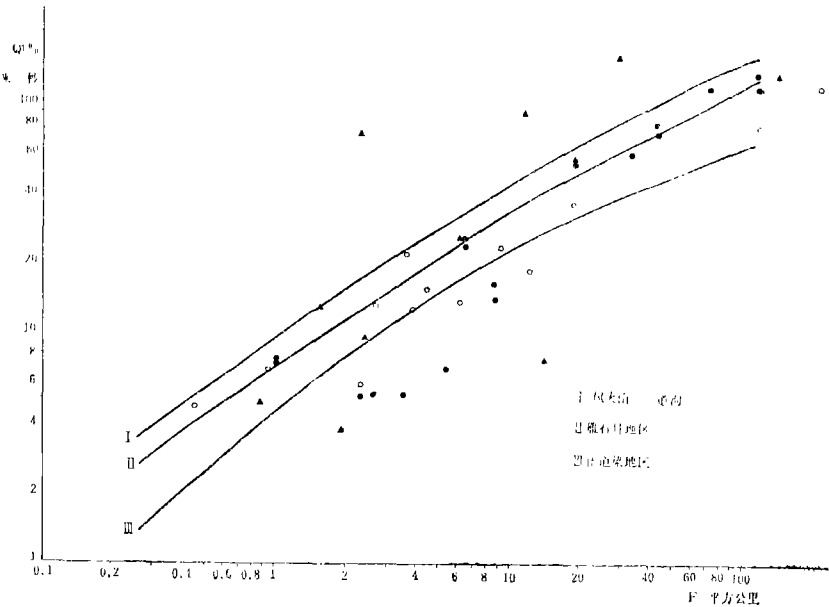


图 2 长江河源地区大中河流 $Q_{1\%} \sim F$ 关系
Fig. 2 The relationship between $Q_{1\%}$ and F of large and middle rivers in the riverhead area of the Yangtze River

(二) 小河流的洪水

长江河源地区小河流洪水的形成与大中河流不同，其基本特征是：洪水受暖季短历时暴雨所控制；冻土现象对流域产流、汇流影响大⁵⁾。

洪水受暖季短历时暴雨所控制。小河一般源流甚短，其分水岭的高程不大，上游一般不存在终年积雪和现代冰川，因此，小河洪水的补给，是由暖季短历时暴雨所致，与冰雪的融化没有直接关系。据统计，本区暴雨的百年一遇雨力 ($s_{1\%}$)、衰减指数 (n_1 、 n_2) 值如表 7 所列。

表 7 长江河源地区暴雨参数统计表

Tab.7 Rainstorm parameters in the riverhead area of the Yangtze River.

地 区 分 段	设计面力 $S_{1\%}$ (毫米)	衰减指数		备 注
		n_1	n_2	
不冻泉——北麓河	25			长短历时转折时间
风火山——乌丽	30			(t_0) 为 1 小时
乌丽——97道班	30	0.55	0.75	
97道班——104道班	35			
104道班——唐古拉山口	30			

冻土现象对流域产流、汇流影响大。地表季节冻土的变化对小河径流形成有较大的影响，7、8 月间雨急量大，降水与融冻时间一致，雨水大量渗入深厚而松散的融冻层，致使地表径流模数较一般地区^[5]为小。各种冻土地貌现象对流域产流、汇流的影响较为显著，因此，小河流洪峰流量计算中的参数应参照表 8 进行适当调整。

表 8 冻土现象对产流、汇流参数的影响

Tab.8 Influence of the frozen soil phenomenon upon the parameters of flood estimation and runoff concentration.

冻 土 地 貌 类 型	产流参数	汇流参数
寒冻石流、石海的石质山区	应略加大	应 减 小
寒冻裂缝的缓坡地区	应 加 大	应 减 小
融冻斑土、鳞片状土质山坡地区	应略加大	应略减小
融冻泥流与滑坍地区	应 减 小	应 加 大
热融凹地、湖泊地区	不加不减	应 减 小

5) 铁道部第一设计院二总队 科研队、中国科学院地理研究所、铁道科学研究所西南所，青藏高原小河洪峰流量的初步调查与研究，1975年。

本区小河流无测站控制，百年一遇洪峰流量（ $Q_{1\%}$ ）的地区变化规律，系按1974、75年区48个典型河段的洪水调查资料综合分析而定（图3），可供本区小河桥涵设计参照使用⁵⁾。

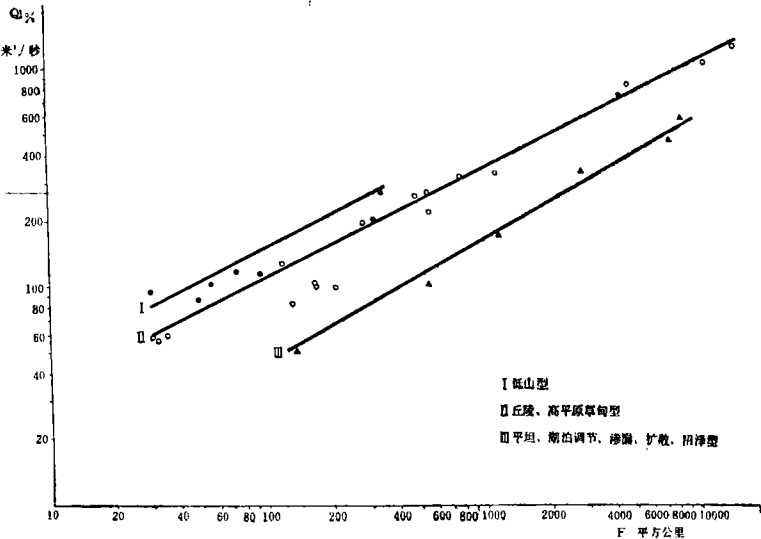


图 3 长江河源地区小河流 $Q_{1\%} \sim F$ 关系
Fig. 3 The relationship between $Q_{1\%}$ and F of small rivers in the riverhead area of the Yangtze River.

五、枯水、水温和冰情

正如前述，长江河源地区的河流一般11~4月为枯水期，最小月（二月）平均径流量不及全年的2%。枯水流量成果如表9所列。年最小流量模数及其变化规律与洪峰流量相似，即年最小流量模数亦有自南向北递减、年际变化加剧的趋势。

表 9 长江河源地区河流枯水流量特征值表

Tab.9 Low water discharge of the rivers in the riverhead area of the Yangtze River.

河 流	测 站	枯水流量 (米 ³ /秒)			年 最 小 流 量		统计年份
		年最小	日最小	月最小	模数 (分米 ³ /秒·公里 ²)	变差系数 C_v	
楚玛尔河	楚玛尔河	0.018	0.021	0.049	0.002	1.92	1959~81
沱 沱 河	沱 沱 河	0.134	0.134	0.209	0.009	0.73	1960~81
布 曲	雁 石 坪	3.28	3.71	4.83	0.773	0.22	1960~81

由于本区夏季气温不高, 因此, 河流水温的年变幅与其它地区相比为小 (表10)〔6〕。本区河流的冰情特征是: 河心最大冰厚可达1米以上, 封冻天数为170天左右 (表10)。

表 10 长江河源地区河流水温和冰情统计表

Tab.10 water temperature and river freeze in the riverhead of the Yangtze River.

河 流	测 站	水 温 (°C)				冰 情		统计年份
		6 月	7 月	8 月	9 月	河心最大冰厚 (米)	封冻天数 (天)	
楚玛尔河	楚玛尔河	2.6	5.4	5.6	2.9			1963~76
沱 沱 河	沱 沱 河	4.6	7.1	7.1	4.3	1.38	169	1963~81
忍 尔 曲	得列楚卡	5.3	7.9	7.8	5.3			1961~63
布 曲	雁 石 坪	4.9	7.1	6.8	4.7	1.05	173	1961~81

参 考 文 献

〔1〕青藏高原大中河流研究小组: 青藏高原格拉段大中河流洪水调查与计算, 地理集刊第12号, 科学出版社, 1980年。

〔2〕夏鹏章: 长江江源水文概况, 中国地理学会陆地水文学学术会议文集 (1978), 科学出版社, 1981年。

〔3〕吴凯、梁季阳、沈建柱: 青藏高原大中河流洪水的形成与计算, 中国地理学会陆地水文学学术会议文集 (1978), 科学出版社, 1981年。

〔4〕沈建柱、张福春: 盛夏青藏高原降水的天气系统及其可能最大降水量的估算, 地理集刊第12号, 科学出版社, 1980年。

〔5〕小流域暴雨径流研究组: 小流域暴雨洪峰流量计算, 科学出版社, 1978年。

〔6〕中国科学院《中国自然地理》编辑委员会: 中国自然地理 (地表水), 科学出版社, 1981年。

ANALYSIS OF HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE RIVERS IN THE RIVERHEAD AREA OF THE YANGTZE RIVER

Wu Kay, Liu Caitang, Wang Guangte

(Institute of Geography, Academia Sinica)

Abstract

This paper briefly describes the main characteristics of physical geographic conditions in the riverhead area of the Yangtze River, in the Qinghai-Xizang Plateau, and deals with the influences of glaciers, cryopedological conditions and geological structures upon stream systems and river regimens. Some regularities of variations of runoff, flood, low water, water temperature and river freeze are involved in the paper. The basic features of flood generation can be analyzed on the basis of relevant physical geographic conditions in the area. According to observation data and flood investigations, an estimation of flood peak discharge with 100 year recurrences of the rivers in the area is presented for designing the railway and highway bridges.