

程根伟 王小丹 等 著

西藏高原水文特征 及其数学模拟

The Hydrological
Features and Their
Dynamic Simulation
in Tibet Plateau



科学出版社

西藏高原水文特征及其数学模拟

程根伟 王小丹 等 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

西藏高原是我国自然环境非常特殊的地区,气候高寒严酷,冰川积雪广布,湖泊湿地集中,是亚洲重要江河的发源地和水源补给地。西藏河流的径流特征及其变化特点对于本区域及其周边地区的水资源安全具有重要的意义。本书介绍西藏高原的主要地理和自然环境特征,特别是高原主要河流和湖泊湿地的水文特性,重点分析西藏的水热气候背景,探讨了冰雪冻融作用及其对径流形成的影响,介绍基于GIS信息技术和分布式结构的反映高原土壤冻融作用的大尺度流域水文模型,模拟分析不同气候和植被变化情境下的河流径流变化趋势。本书比较系统地阐述影响西藏河流径流变化的气候、植被和人类活动因素,介绍国内这方面的最新观测和研究结果,汇集有关西藏高原河流水文方面的重要数据资料,有关成果对于从事高原(高寒)地区环境变化和水资源评价研究的人员具有较大的参考价值。

本书可供从事工程水文学、水资源评价与环境变化研究的科技人员参考,也可作为相关专业研究生教学辅助用书。

图书在版编目(CIP)数据

西藏高原水文特征及其数学模拟 / 程根伟等著. — 北京: 科学出版社, 2016.1

ISBN 978-7-03-047049-2

I. ①西… II. ①程… III. ①青藏高原-水文特征-数学模拟-西藏 IV. ①P344.27

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 013508 号

责任编辑: 张 展 李 娟 / 封面设计: 墨创文化

责任校对: 陈 靖 / 责任印制: 余少力

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

四川煤田地地质制图印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年3月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2016年3月第一次印刷 印张: 15

字数: 300千字

定价: 180.00元

序 言

西藏自治区地处祖国西南边陲，国土面积 120 多万平方公里，是我国西南的地理屏障。西藏也是青藏高原的主体，集中了喜马拉雅山、喀喇昆仑山、冈底斯山、念青唐古拉山、横断山等世界上最高大雄伟的山系，孕育了长江、恒河、湄公河、印度河、萨尔温江、伊洛瓦底江等亚洲的重要河流，被称为“亚洲水塔”。

西藏还是受全球气候变化影响最为显著的地区，近几十年来，西藏地区的气温持续升高，降水的差异性逐渐增大。气候变化和人类活动对高寒生态系统产生了深刻的影响，同时也影响到这个地区原来的径流形成条件。变化环境下的高原河流径流演变趋势如何，未来西藏的水资源变化趋势怎样，这些问题的解决对于西藏未来的发展和亚洲主要江河的水资源安全都具有重要的作用。

受高原地形及大气环流的影响，西藏的降雪和融雪作用空间差异明显，冻土的形成和消融也是影响高原流域径流形成的关键因素，而春季的冰雪融水对江河补给作用很大，对西藏河流的径流变化具有直接的影响，研究西藏高原的水文特征必须掌握高寒环境下的地面冰雪冻融规律。

在中国科学院西部行动计划项目“西藏高原生态安全屏障监测评估方法与技术研究 (KZCX2-XB3-08)”的支持下，中国科学院成都山地灾害与环境研究所西藏生态环境与发展研究团队开展了有关西藏生态评估的理论和技术研究。其中，对生态安全屏障的生态水文效益的分析是一个关键，需要在准确认识西藏江河主要水文特性的基础上，对环境变化下的径流演变趋势进行定量评价。生态水文数学模型是重要的研究手段。项目组结合西藏生态水文特点，解决了大尺度流域分布式水文模型的建模和冰雪冻融的作用机制及其模拟等问题，研究了不同气候和植被变化情景下的径流变化趋势，对西藏高原水文特征和变化规律提出了比较好的评价方法与模型，填补了这方面研究的一些空白，有关成果对于从事高原（高寒）地区环境变化和水资源评价的人员具有参考价值。

本书介绍西藏高原的主要地理和自然环境特征，特别是高原主要河流和湿地的水文特性，重点分析西藏的水热气候背景，探讨冰雪冻融作用及其对径流形成的影响，研发基于 GIS 信息技术和分布式结构的反映高原土壤冻融作用的大尺度流域水文模型，模拟分析不同气候和植被变化情境下的河流径流变化趋势。其中介绍的分布式水文模型已经在中国科学院成都山地灾害与环境研究所网页上共享 (http://www.imde.ac.cn/kxcb/kpdt/201506/t20150611_4372516.html)，可供有兴趣的研究人员下载使用。

各章的主要编写人员如下：

第一章，王小丹。

第二章，程根伟，王小丹。

第三章，沙玉坤。

第四章，刘伟龙。

第五章，范继辉，李卫朋。

第六章，范继辉，程根伟。

第七章，程根伟，范继辉。

第八章，沙玉坤，程根伟。

程根伟和王小丹对全书进行了统稿和修订，博士生陈有超、李卫朋对本书进行了文字校订。本书在编写过程中，参阅和引用了大量相关研究者的论述（已在正文中或参考文献中列出），这些前期研究工作对本书的写作提供了重要的参考和支持，中国科学院山地表生过程与生态调控重点实验室对本书的出版给予了经费支持，特此表示感谢。由于青藏高原人口稀少、观测数据缺乏、气候变化和人类活动交互影响，对正确认识高原地区的水文特性和变化规律造成了一些实际困难。加之我们自己的理论水平和科学积累不够，本书中存在不少的问题和缺陷，欢迎有识之士批评指教。

程根伟

2015年5月于成都

目 录

第一章 青藏高原环境特征及全球变化影响	1
第一节 自然环境特征	1
一、地质地貌	1
二、气象与水文	5
三、土壤与植被	6
第二节 主要生态系统	8
一、草地生态系统	8
二、荒漠生态系统	12
三、灌丛生态系统	14
四、森林生态系统	16
五、湖泊(湿地)生态系统	21
第三节 青藏高原的气候变化特征	22
一、温度与降水变化	22
二、气候变化对生态系统影响	23
三、气候变化对冰川与积雪影响	24
第四节 青藏高原人类活动与环境变化	25
一、西藏经济社会概况	25
二、土地利用现状	26
三、水资源利用	27
四、矿产资源开发	27
五、旅游资源开发	28
六、高原土壤环境与生态系统变化	28
第二章 青藏高原气候与水热分布格局	35
第一节 区域气候特征	35
一、气候地带性	35
二、高寒多变性	36
三、气候分区	36
第二节 水热分布	38
一、降水	38
二、气温	41
三、太阳辐射	43

四、大风	43
第三节 干湿度格局	45
一、干燥度	45
二、干湿分区	46
第三章 西藏典型河流径流特征	49
第一节 西藏主要河流概况	49
一、西藏水系与河流	49
二、雅鲁藏布江	53
三、拉萨河	54
四、年楚河	55
五、尼洋河	56
六、狮泉河与象泉河	57
七、怒江(上游)	59
第二节 西藏主要河流的径流特征	60
一、雅鲁藏布江	61
二、拉萨河	64
三、年楚河	67
四、尼洋河	70
五、狮泉河与象泉河	73
六、怒江(上游)	73
第三节 影响西藏河川径流的主要因素	76
一、降水	76
二、气温	77
三、冰川	78
第四节 西藏河川径流变化及其影响因素	82
一、近期气温变化特征	83
二、近期降水变化特征	85
三、近期蒸发量变化特征	86
四、河川径流变化特征	87
第四章 西藏高原湖泊湿地特征	89
第一节 西藏的主要湖泊湿地	89
一、高原湖泊(湿地)的成因	89
二、湖泊(湿地)类型及面积	91
三、西藏湖泊的水化学特征	93
四、藏北典型湖泊水体物理指标	98
五、西藏湖泊湿地变化趋势	103

第二节 西藏湖泊湿地的水生生物	104
一、主要水生植物	104
二、主要鱼类	108
第五章 藏北高原土壤冻结与消融机制	124
第一节 藏北高寒草原土壤冻融过程	124
一、研究区概况	124
二、监测方法	125
三、多年冻土活动层的冻结和融化过程	126
四、日冻融循环	128
五、冻融过程中土壤温度变化	131
六、冻融过程中土壤水分变化	135
第二节 影响冻土的因素	139
一、气候变化的影响	141
二、植被覆盖的影响	142
三、人类活动的影响	142
第三节 地面积雪和冻土消融的关键参数	144
一、积雪消融参数	144
二、冻土消融参数	145
第六章 基于土壤热力学的冻土积雪变化模型	147
第一节 气温-地温模型	147
一、申扎高寒草原站	148
二、贡嘎山森林生态站	150
第二节 地面积雪和融雪模型	152
一、降水处理	154
二、积雪与融雪的判断	155
三、积雪消融计算	155
四、有效融水量确定	156
五、出流计算	157
第三节 土壤冻结和消融模型	158
一、冻结与消融判断	158
二、土壤水分和径流转化模型	160
三、典型的土壤冻融水文模型	162
第七章 中大尺度流域的分布式水文模型	171
第一节 流域水文模型的主要结构	171
一、植被截留蒸腾作用	172
二、土壤水分转换	174

三、径流水源划分	175
四、土壤和地下水库调蓄	175
五、地面积雪与土壤冻融	176
六、坡面侵蚀与泥沙输送	177
第二节 流域水文模型的分布式结构方法	178
一、流域离散化方法	178
二、空间处理模块	180
三、水文模型与 RS/GIS 的结合	186
第三节 包含冻融作用的分布式水文模型	187
一、模型结构	187
二、主要模块算法	189
三、模型参数	197
四、模型对话界面	200
五、模型检验	203
第八章 变化环境对高原河流水文过程的影响	210
第一节 气候变化对高原典型流域水文过程的影响	211
一、气候变化情景设定	211
二、气候变化下的河流水文响应	212
第二节 植被覆盖变化对高原典型流域水文过程的影响	216
一、植被覆被情景设定	216
二、植被覆被情景下的河流水文响应	216
第三节 气候与人类活动联合影响下的径流变化	220
一、气候与植被变化的情景设定	220
二、气候变化与人类活动联合影响下的水文响应	221
参考文献	227

第一章 西藏高原环境特征及全球变化影响

西藏地处祖国西南边陲，位于北纬 $26^{\circ}50'$ ~ $36^{\circ}29'$ 和东经 $78^{\circ}15'$ ~ $99^{\circ}07'$ ，国土面积 120 多万平方公里，约占全国陆地面积的 $1/8$ 。西藏北部以昆仑山、唐古拉山山脊为界，东隔金沙江，与四川相望，东南与云南相邻，西邻克什米尔地区，南界为喜马拉雅山脉，与尼泊尔、印度、不丹和缅甸等国接壤，是我国西南边疆的重要门户和地理屏障，战略地位十分重要。

西藏还是青藏高原的主体，集中了喜马拉雅山、喀喇昆仑山、冈底斯山、念青唐古拉山、横断山等世界上最高大雄伟的山系，孕育了长江、恒河、湄公河、印度河、萨尔温江等亚洲的重要河流，被称为“亚洲水塔”。

西藏也是我国除新疆北部和东北-内蒙古地区外的主要积雪分布区之一，受高原地形及下垫面情况的影响，降雪和融雪过程空间差异明显，而春季的冰雪融水对江河补给作用很大。该区域还是世界上海洋性冰川（又称季风温冰川）的集中分布区，海洋性冰川具有极高的物质（能量）交换水平以及对气候变化的高度敏感性。气候变暖导致了山地冰川的迅速退缩，尤以海洋性冰川退缩最为剧烈。冰雪融水对西藏河流的径流变化具有直接的影响。

西藏是受全球气候变化影响最为显著的地区，近几十年来，西藏地区的气温持续升高，降水的差异性增大，对高寒生态系统产生了深刻的影响，同时也逐渐影响到这个地区原来的径流形成条件。气候变化下的高原河流的径流演变趋势如何，对西藏未来的发展和亚洲主要江河的水资源安全都具有重要的作用，因此阐明西藏高原水文变化机制具有重要的科学价值和实际意义。

第一节 自然环境特征

一、地质地貌

（一）地质构造

西藏高原是青藏高原的主体，是印度洋板块与欧亚板块相互作用的结果。距今 4500 万年以来，印度洋板块向北推进与欧亚板块发生强烈碰撞和挤压，在上新世末至第四纪初出现强烈的新构造上升运动，在近 340 万年间，上升幅度达 3500~4000m，形成今天西藏高原平均海拔达 4000m 以上的“世界屋脊”。印度

洋板块向北推移迄今没有停止,目前仍以每年 5cm 的速度向北移动,整个高原处在强大的南北向挤压之中,地壳变形作用加强,岩石圈挤压变形强度在加大,并导致其塑性变小、刚性增强、脆性增大。高原隆升过程表现为整体性、差异性和阶段性特点。在整体隆升过程中出现断裂、差异升降和断块掀升,导致高原内部形成大量的断陷盆地和断块山地。在第四纪的强烈构造活动中,噶尔藏布—雅鲁藏布江断裂带、班公错—色林错—怒江断裂带和龙木错—玛尔盖茶卡—金沙江断裂带等东西向大断裂带以及羊八井—那曲断裂等北东—北北东向断裂带等,在地形上形成明显的凹陷带。

西藏高原地质构造以雅鲁藏布江大断裂为界,分为南北两部分。北部以昆仑褶皱系、唐古拉准地台及冈底斯—念青唐古拉褶皱为基础组成藏北高原。其地质特点是岩层产状较平缓 and 火成岩大面积出露。南部由喜马拉雅褶皱系组成藏南山地,受强烈褶皱作用的影响,岩层产状一般较陡,许多地方岩层呈直立状态,而且裂隙发育、岩层破碎、稳定性差、风化剥蚀作用强烈。此外,弧形构造形迹遍布,是多旋回岩浆岩构造作用的结果。西藏断裂构造发育,其中雅鲁藏布江断裂带、班公错—色林错—怒江断裂带、龙木错—玛尔盖茶卡—金沙江断裂带及羊八井—那曲断裂带等对山脉与河流走向、沉积建造以及地层岩石的稳定性等产生重大影响。

西藏地质构造大致可分为五个单元:①喜马拉雅褶皱系,发育了从震旦系到新生界的地层,有一系列由北向南逆掩的推覆体;②拉萨—波密褶皱系,泥盆系地层厚度大,并有大片石炭二叠系海相碎屑岩石出露;③唐古拉山地区褶皱系,侏罗系地层广泛分布;④藏北与新疆毗邻地区褶皱系,出露志留系火山岩、泥盆系和石炭系砂页岩等;⑤昌都地区线状褶皱系,发育了古生代和中生代陆相地层,并伴有复杂的走向断层和挤压破碎带。

青藏高原从晚更新世以来一直处于快速上升阶段,大约 160 万年间上升了 1500m,平均上升速度为 10mm/a。依据大地水准测量资料,自 1960 年到 1970 年,高原平均上升速率为 5~8mm/a,其中狮泉河—萨嘎—拉萨—邦达一线平均上升速度为 8.9mm/a,而拉萨—邦达一线达 10mm/a。高原的持续上升,带来侵蚀动力作用增加,进而导致侵蚀速率加快与加大。此外,高原的持续上升,高原地形屏障作用得到加强,使高原内部干旱加深,导致内流区内部的水系进一步衰亡。在藏东南高原边缘地带,地面抬升和河流下切作用都很强,河谷侵蚀加快,形成高山峡谷地貌。

(二)地层与岩性

西藏境内地表出露地层复杂多样,自元古代以来各地质时期的地层均有出露,最古老地层为寒武纪的变质岩系,石炭纪、二叠纪、三叠纪和侏罗纪地层在西藏各地均有分布,其中以三叠纪地层分布最广,古近纪紫红色砂页岩见于内陆

拗陷盆地中。出露于地表的主要岩石类型有砂岩、页岩、碳酸盐岩、碎屑岩、大理岩、板岩、片岩、千枚岩、火山岩、泥岩、泥灰岩、砾岩等,不同岩石类型的抗风化和抗侵蚀能力有显著差异,作为成土母质的第四纪松散沉积物分布广泛,主要有冲洪积物、残积坡积物、冰碛物和风积物等。

以片岩、千枚岩、大理岩为主的变质岩系主要分布于喜马拉雅山区、念青唐古拉山等地;以砂岩、碳酸盐岩、页岩、碎屑岩等为主的海相沉积主要分布在日喀则—拉萨—那曲一线以东地区、雅鲁藏布江以南的喜马拉雅山北坡、昌都—安多—改则一带的西藏东部至西部地区;藏北高原有较大面积的火山岩出露;残坡积物广泛分布于山脊和较缓山坡地带。冲洪积物指第四系河流与沟谷洪积、冲积而成的沉积物,主要分布于雅鲁藏布的宽谷、藏北高原湖滨以及藏东南“三江”河谷地带。冰川堆积物分布广泛,在藏东南山地、藏北高原、喜马拉雅山、冈底斯—念青唐古拉山和昆仑山等均有分布。

西藏地区残坡积物以寒冻风化作用形成的细粒状和块砾状松散物质为主,土质含砂、石砾和碎石等,粗骨性强、较松散、细粒物质易遭强风吹蚀,故稳定性差。分布于河谷地带的第四系冲洪积物,主要由泥沙和砾石等未胶结的松散堆积物组成。一般土质疏松,透水性较强,地下水补给条件较好,适宜植物生长。因此,冲洪积分布区是当地较好的农耕地和放牧地。但是,由于土地农耕和过度放牧带来的土壤侵蚀和土地沙化问题较突出,因而成为沙尘天气和沙尘暴物质的主要来源地之一。区内冰碛物广布、冰碛物分选性差、多呈松散状态。此外,在藏南宽谷和藏北高原内陆湖盆地区分布有较大面积的风积物,它们以流动沙丘、固定和半固定沙地等多种形式覆盖于地面甚至谷坡和半山腰处,成土作用极弱,稳定性极差,成为西藏沙尘暴发生的主要沙源地。

(三)地貌基本形态与类型

西藏的宏观地貌格局是由辽阔的高原面、高耸的山脉、棋布的湖盆、众多的内外流水系等大的地貌单元在平面上的排列和组合。整个地势由西北向东南倾斜,地理上南北纵跨八个纬度,纬度的水平地带性所影响的水热状况,一定程度上影响着地貌的发育;而高原的巨大高度所带来的垂直地带差异,往往掩盖了水平方向上水热分布的差异,使高原地貌具有它自身的独特性、形态多样性和类型复杂性。根据西藏境内地势变化和地貌类型组合特点,可将西藏地貌环境归纳为如下四大特征:高亢辽阔的高原、巍峨高峻的群山、长而宽广的山间平地、幽深狭窄的峡谷。

藏北羌塘高原,地域辽阔,是由许多坡度和缓的高原丘陵山地和湖盆宽谷所构成的高海拔高原,高原面形态保存完整,海拔为4500~5000m;在高原面上及其边缘分布有一系列绵延耸立的高大山脉。根据山脉走向,大体可分为东西向和南北向两组;东西向山脉从北到南有昆仑山、喀喇昆仑山、唐古拉山、冈底斯

山—念青唐古拉山和喜马拉雅山。南北向山脉自西向东有伯舒拉岭—高黎贡山、他念他翁山—怒山、宁静山—云岭。南北向山脉与南北向深谷相间排列，自西向东分别有怒江深谷、澜沧江深谷和金沙江深谷。高山深谷南北延伸、相间排列引起的气候生态效应十分典型和独特。

在藏南和藏西高原山地间，宽谷发育、平地面积大，长度较长和宽度较大的宽谷平地主要分布于雅鲁藏布江干流中游及其主要支流拉萨河、年楚河、尼洋河等中下游，其次为朋曲、雄曲、狮泉河、象泉河等中游。

西藏东部和东南部发育了世界上罕见的幽深狭窄的峡谷地貌类型，其中雅鲁藏布大峡谷长约 200km，相对高差达 5000~6000m，河床落差达 2300m，河床平均坡降超过 10‰，最大达 62‰，为世界上最著名的峡谷；此外，在昌都地区的“三江”并流区，岭谷高差达 2000~3000m，为世界上所少见。

(四)现代地貌作用外营力

在西藏地区独特而复杂的自然环境中，塑造地貌的各种外营力无论在历史上或现在情况下，都随着自然地理条件在水平和垂直方向上的变化，它们的主要活动方式也相应出现各种变化。但是必须指出，青藏高原自上新世末以来的强烈上升是决定高原地貌的主导因素，随着高原不同阶段的隆升，塑造高原地貌的外营力在地域的水平及垂直方向上曾发生了巨大的变化，大部分反映古外营力作用的地貌形态受到彻底改造，当今高原的主要地貌类型及其分布是完全反映了现代外营力的分布和作用特点的。仅有某些反映古外营力作用的地貌形态残遗到今天，如古岩溶、古冰缘、古夷平面等。与此同时，随着高原上升到现今这样巨大高度所塑造的垂直方向上的变化往往被突出，而水平方向上的变化则被掩盖。因此，在地貌发育上，不同时代形成的地貌互相穿插，水平地带性被调和，垂直地带性鲜明，从而使高原地貌的研究显得十分复杂。

以水热状况为基本前提的地貌作用外营力，叠加在内营力所形成的地质构造的基础上，产生了各种各样的地貌类型，并且以不同的方式展布在不同地域上。印度洋靠近青藏高原的格局使它成为高原水汽的主要供给来源，加上纬度地带性的因素，共同构成了高原地貌水平地带性分异的基础。另外，高原在第四纪中、晚期强烈上升所达到的巨大高度，是以绵延数千公里的喜马拉雅山为主的强烈上升山脉，它所造成的地形对气候的屏障作用，明显地影响到水热条件的再分配，这对地貌作用外营力的再分配也是十分重要的因素。

就整个高原来看，水平方向上由东南向西北，由高原边缘深入到高原内部，温度和降水都在逐渐下降，地貌作用的外营力由强烈的流水作用逐渐减弱而代之以冰缘气候的寒冻剥蚀作用为主。在这总规律作用下，垂直地带性的分异及地形、水热状况的一些具体特点复杂化了水平地带性的规律。高原地貌的垂直地带性规律以藏东南及藏南地区那些受到深切割的山地最明显，带谱齐全。从上而下大致可以分为

冰川冰缘带、流水侵蚀带和山麓堆积带。此外,随着高原在隆升过程中所造成的众多构造湖泊,形成以湖泊为中心的内流水系,它们以自己的水体侵蚀和堆积塑造自己独特的地貌类型,成为高原现代地貌作用外营力不可忽视的一个方面。

二、气象与水文

(一)现代气候特征

西藏在全国气候区划中属青藏高原气候区,其基本特点是太阳辐射强烈、日照时间长、气温低、空气稀薄、大气干洁、干湿季分明、冬春季多大风。

(1)辐射强烈,日照时间长。西藏太阳总辐射值全国最高,其西北高原面上每年每平方米的总辐射值大于 6300MJ,索县—嘉黎—错那一线以东小于 6300MJ,同纬度的中国东部地区约为 2440~4620MJ。西藏除东南部外年日照时数一般在 2000 小时以上,日照百分率超过 50%,呈现东南低、西北高的特点。

(2)气温低,昼夜温差大,积温少。西藏气温地域差异明显,自东南向西北递减。高原东南部河谷地区气温高,并表现出明显的垂直变化。温度最高的地方分布于雅鲁藏布江大拐弯以南低山区和横断山脉地区的“三江”并流区,年均气温分别在 16℃和 10℃以上,最热月均温分别在 22℃和 15℃以上。藏西北高原温度低,多数地区年均气温 0℃以下,最冷月均气温低于 -10℃,极端最低温度达 -44.6℃,一年中月均气温在 0℃以下的月份长达 6~7 个月,大部分地区无霜期只有 10~20 天。气温日较差大,表现出一天中升温 and 降温迅速,在冬季尤为显著,藏北高原 1 月平均日较差达 10℃以上。西藏大部分地区地势高寒,积温较少,不足 1500℃·d。札达盆地、朋曲冲积平原、雅鲁藏布江中游、澜沧江河谷海拔 3400~3800m 的地区大于 0℃积温为 2000~3000℃·d。尼洋河中下游、帕隆藏布、怒江下游等河谷为 3000~3500℃·d。察隅、墨脱、错那 3 个县海拔 2400m 以下地区高于 4000℃·d。

(3)降水少,季节性明显,夜雨率高。西藏年降水量为 66.3~894.5mm,呈东南向西北递减分布规律,大部分地区年降水量在 400mm 以下,区域差异明显。藏东南低山平原区年降水量达 4000mm 以上,是我国降水量最多的地区之一。由此向高原西北地区逐渐减少,藏北羌塘高原为 300~100mm,藏西北改则、日土县北部不足 100mm,局部地区只有 50mm 左右。降水随时间变化的不均匀性,最明显地表现在降水量的季节分配上。西藏年内降水高度集中在 5~9 月,占年降水量的 80%~95%。雨季开始期总的分布呈东南早、西北迟的规律。夜雨率高是西藏气候的又一特色,年夜雨量为 42.0~598.9mm,占年降水量的 51%~84%,其中沿雅鲁藏布江一线较高,为 67%~91%;以拉萨最高,达 84%,是西藏高值中心。

(4)大风多且强度大,夏季多冰雹和雷暴。西藏不仅大风多、强度大,而且

连续出现的时间长,那曲、申扎、改则和狮泉河年均大风(≥ 8 级)出现日数均在100天以上。大风多出现于12月至次年的5月,此期间大风日数占全年的75%左右,以2~4月最为集中,占全年大风日数的50%左右,是沙尘暴和沙尘天气最易发生的季节。大风集中于冬、春两季,加之降水极少,对农牧业生产极为不利。西藏冰雹多,居全国之首。它有两个多雹中心,一个在藏北的申扎、班戈、那曲、索县一带,年冰雹日数为21~34天,最多年份可达64天,是我国雹日最多地区之一。另一个多雹中心在浪卡子、定日、隆子等藏南山原湖盆一带,为10~20天。那曲、雅鲁藏布江中游地区年雷暴日数在60天以上,为强雷暴区。

(二)水文特征

西藏是我国河流最多的省区之一,流域面积大于1万 km^2 的河流有20多条。亚洲著名的长江、萨尔温江、湄公河、印度河、布拉马普特拉河都源于或流经西藏。河流分外流与内流两大系统,内流水系区主要分布在藏北高原,外流水系区分布在内流区的东、南、西外围。内流区和外流区之间的界线大致南以昂龙岗日—冈底斯山—念青唐古拉山为界,东至青藏公路附近,西至国界附近。需要指出,西藏内流河与外流河之间往往无明显的分水岭相隔,分水线在平面上呈犬牙交错状。高原内流水系总面积达62.4万 km^2 ,占西藏总面积的50.7%,其中,藏北内流区为59.7万 km^2 ,藏南内流区为2.7万 km^2 。藏北内流区由数以百计的彼此相隔的小流域组成,区内的各内流河均是以湖泊或洼地(可能是干涸的湖盆)为最终侵蚀基准面而发展起来的。藏南内流河流主要分布于喜马拉雅山北侧降水较少的雨影区内,亦是以湖泊为中心而发育的(如佩枯错、羊卓雍错等),且为彼此不相联系的内流区。外流区总面积为58.1万 km^2 ,占西藏总面积的49.3%。亚洲主要大河长江、雅鲁藏布江、印度河、恒河等都发源于此。

西藏不仅是世界上海拔最高的高原湖沼分布区,而且是我国湖泊、沼泽分布最集中的区域之一。据不完全统计,西藏境内面积大于1 km^2 的湖泊有819个,约占全国湖泊数量的27.8%,总面积为24949 km^2 ,约占全国湖泊总面积的26.3%;西藏境内拥有各类湿地约600万 hm^2 ,占全区土地总面积的4.9%。

西藏是世界上山地冰川最发育的地区,有海洋性冰川和大陆性冰川22468条,冰川面积为28645 km^2 ,分别占全国冰川条数、面积的48.5%和48.2%。冰川融水径流325亿 m^3 ,约占全国冰川融水径流的53.6%。全区75%的冰川分布于外流水系流域,25%分布于藏北内陆水系流域。

三、土壤与植被

(一)土壤特征

西藏自然条件的特殊性,反映在土壤特征上具有成土过程的年轻性和土壤发

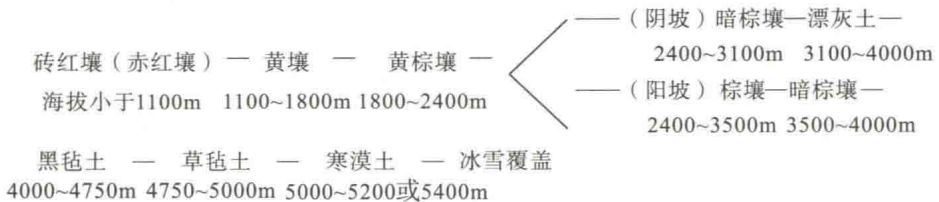
生的多元性。成土条件复杂,土壤发育类型众多,约有 28 个土类、67 个土壤亚类。由于高寒、干燥(或半湿润)的成土环境占据优势,全部土类中近 1/4 为西藏所特有的高山土壤类型,且占各类土壤总面积的 66%左右。土壤的地带性与区域性分布规律十分显著,藏东南山地生物作用旺盛且淋溶强烈,主要分布酸性森林土壤。藏西北的生物作用与淋溶作用逐渐减弱及钙化,盐分积累作用增强,依次分布有高山草甸土壤、高山草原土壤、高山寒漠土壤等。受经度、纬度和海拔的制约,土壤的地带性分布呈现特殊的表现,具有水平地带性和垂直地带性的双重特征,且两种分布规律交织在一起,构成复杂分布,这是西藏土壤分布的突出特征。

西藏南北约跨纬度 10° ,东西横贯经度近 20° ,南北水热条件虽有一定差异,但由于独具一格的高原地貌,破坏了延续亚洲南部的土壤地带结构,土壤水平地带的分布界线多半受山脉与河流走向控制,常发生偏转。除高原南部边缘山地的基带土壤(如砖红壤、黄壤、黄棕壤、褐土等)可以与相邻地区的土壤地带相衔接外,其余则成为一个以土壤垂直地带性为主的独特单元。全区土壤的水平地带带谱组成虽与邻区相异,但与区内土壤垂直地带带谱组成却相类同。大致从东南向西北水平地带分布为:砖红壤—赤红壤—黄壤—黄棕壤带、褐土—棕壤带、黑毡土带、草毡土带、巴嘎土带、莎嘎土带、高山漠土带和寒漠土带。

西藏高原地形复杂,空间跨度大,单就山地类型可分为高原边缘大斜面上的山地、耸立于高原面上的山地和高原面遭切割而形成的山地,它们又分别处于山地热带、山地亚热带、高原温带、高原亚寒带和高原寒带等不同气候带,形成了不同组成和特点的土壤垂直带谱,大体可归纳为湿润垂直带谱型、半湿润垂直带谱型、半干旱垂直带谱型和干旱垂直带谱型四大类。

1. 湿润垂直带谱型

湿润垂直带谱型主要分布在东部和中部喜马拉雅山南翼,山地热带和山地亚热带地区,基带土壤分别为砖红壤与黄壤(或黄棕壤),主要建谱土壤为暗棕壤和漂灰土。土壤垂直带谱结构一般为



2. 半湿润垂直带谱型

半湿润垂直带谱型主要分布在藏东和藏东北的高原温带、高原亚寒带地区,基带土壤为褐土,主要建谱土壤为棕壤、黑毡土和草毡土。土壤垂直带谱结构一

一般为

褐土 — 棕壤 — 黑毡土 — 草毡土 — 寒漠土 — 冰雪覆盖

海拔2500~3500m 3500~4300m 4300~4700m 4700~5000m 5000~5500m

3. 半干旱垂直带谱型

半干旱垂直带谱型主要分布在西藏中、西部，喜马拉雅山北侧高原温带及藏北高原亚寒带等高原内部地区(冈底斯山、唐古拉山等)，基带土壤为巴嘎土，主要建谱土壤为莎嘎土。土壤垂直带谱结构为

巴嘎土 — 莎嘎土 — 寒漠土 — 冰雪覆盖

2800~4500m 4500~5000m 5000~5700m

4. 干旱垂直带谱型

干旱垂直带谱型主要分布在藏西北的森格藏布、噶尔藏布和喀喇昆仑山等高原温带、高原亚寒带和高原寒带地区，土壤垂直带谱结构一般为

4500~5200m (阳坡)

莎嘎土 — 高山漠土 — 寒漠土 — 冰雪覆盖

4500~4700m (阴坡) 4700~5200m 5200~5800m

(二) 主要植被类型

西藏植被的显著特点是植物区系成分复杂、植被类型多样和高山植被发育等。其拥有属于泛北极植物区中青藏高原植物亚区的草原、荒漠和草甸及中国-喜马拉雅植物亚区的多种森林，这两个亚区的分界约在芒康—朗县—嘉黎—丁青一线。随着西藏各地水热条件水平空间分异，植被分布呈现了从东南向西北相继为热带、亚热带山地森林—山地灌丛草原—高寒草甸—高寒草原—高寒荒漠等植被带。在藏东南山地区随海拔变化从下而上依次出现雨林、常绿阔叶林、针阔混交林、暗针叶林、亚高山灌丛草甸及高山草甸等垂直植被带。第二节将对主要生态系统详细论述，这里不再赘述植被特征。

第二节 主要生态系统

一、草地生态系统

(一) 类型与分布

草甸与草原生态系统是西藏草地的主体生态系统类型，占全区草地面积的80.45%，草地类型丰富多样，草甸与草原草地类型有7个，其中草甸草地类有