

中国水利教育协会

高等学校水利类专业教学指导委员会

共同组织



全国水利行业“十三五”规划教材（普通高等教育）

牧区水利工程学

主 编 史海滨 杨树青
副主编 李玉芳
主 审 郭克贞

非外借



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

中国水利教育协会
高等学校水利类专业教学指导委员会

共同组织



全国水利行业“十三五”规划教材（普通高等教育）

牧区水利工程学

主 编 史海滨 杨树青

副主编 李玉芳

主 审 郭克贞



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

·北京·

内 容 提 要

本书是全国水利行业“十三五”规划教材（普通高等教育），全书共九章，以牧区水利为研究对象，从牧区水利发展的历史和现状以及存在问题、牧区水-草-畜平衡分析、牧区水资源开发利用、草地需水量与灌溉制度、草地灌溉排水技术、草地灌溉节能新技术、牧场供水技术、牧区水土保持技术、灌溉草地效益评价分别进行了阐述，具有显著的区域特色。其研究内容注重学科的交叉和综合，应用研究注重技术的集成和运用。系统地介绍了牧区水利工程规划设计所涉及的基础理论与专业技术。本书尽量满足从事牧区水利工程工作需要的基础知识、基本理论和基本技能的学习和实践要求。使学生具有从事本专业的工程设计、科研的能力和工作必备的理论基础。

本书主要适用于农业水利工程、水利水电工程、水文及水资源及给水排水工程、区域规划等专业的教学参考书，同时也可供同类专业工程技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

牧区水利工程学 / 史海滨，杨树青主编. -- 北京：
中国水利水电出版社，2019.2
全国水利行业“十三五”规划教材. 普通高等教育
ISBN 978-7-5170-7485-4

I. ①牧… II. ①史… ②杨… III. ①牧区—水利工
程—高等学校—教材 IV. ①S277.7

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第035658号

书 名	全国水利行业“十三五”规划教材（普通高等教育） 牧区水利工程学 MUQU SHUILI GONGCHENGXUE
作 者	主 编 史海滨 杨树青 副主编 李玉芳
出版发行	主 审 郭克贞 中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 68367658 (营销中心) 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京虎彩文化传播有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 11.5印张 273千字
版 次	2019年2月第1版 2019年2月第1次印刷
定 价	29.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

本书是全国水利行业“十三五”规划教材（普通高等教育）。牧区水利工程学是以牧区水利为研究对象，围绕资源环境和社会经济的可持续发展，开展牧区水利基础研究、牧区水利技术应用研究以及高新技术集成应用研究的综合性课程。该课程是在特定的人文地理区域内产生和发展起来的，具有显著的区域特色。多年来牧区水利工程学得到了长足的发展，其研究内容注重学科的交叉和综合，应用研究注重技术的集成和运用。对牧区的生态建设和社会经济发展具有重大的支撑和促进作用。

牧区最为主要的土地资源是草地。草地作为一类陆地生态系统是草本植物群落及与之相适应的土地环境的结合体。它不仅是发展畜牧业生产的重要基地，而且在为人类提供大量动物产品的同时，还具有涵养水源、保持水土、改造土壤、净化空气、改善生态环境等作用，特别是对我国北方干旱半干旱地区，草地生态系统对防治土地沙漠化、保持生态平衡具有重要作用。

本书是作者在多年的教学、科研和工程实践中，不断总结、充实编写而成。本书由内蒙古农业大学史海滨、杨树青任主编，石河子大学李玉芳任副主编。

本书各章节编写分工如下：第一章、第五章史海滨、闫建文，第二章郑和祥，第三章杨树青，第四章李仙岳，第六章李为萍，第七章李玉芳，第八章徐冰，第九章苗庆丰，全书由史海滨、杨树青统稿。

牧区水利工程学是根据灌溉排水工程学以及牧区水利规划设计的需要衍生出的新的实用技术学科，很多实际问题还需要结合牧区实际情况继续总结和探索，加之编者水平有限，书中一定还存在不少缺点甚至错误，恳请读者批评指正。

本书在编写过程中，得到了水利部牧区水利科学研究所和内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院有关老师的支持和帮助，得到了许多生产和科研单位相关同行的支持，另外本书引用了大量的资料，在此一并表示感谢。全书由郭克贞主审，他提出了许多宝贵意见，特在此致谢。

作者

2018年8月

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 我国牧区概况	1
第二节 牧区草地灌溉及其发展趋势	5
第三节 牧区灌溉草地发展模式	7
第四节 课程内容及目标	11
第二章 牧区水-草-畜平衡分析	12
第一节 牧区水资源特点及评价	12
第二节 牧区饲草资源特点及评价	16
第三节 牧区牲畜资源评价	18
第四节 牧区水-草-畜资源平衡分析	19
思考题	24
第三章 牧区水资源开发利用	25
第一节 牧区地下水勘查技术	25
第二节 牧区地下水开发利用技术	31
第三节 管井的成井技术	44
第四节 井灌区机井规划实例	49
思考题	53
第四章 草地需水量与灌溉制度	54
第一节 草地灌溉特性及管理技术	54
第二节 牧草水分生理生态特性	57
第三节 草地需水规律与需水量	58
第四节 草地灌溉制度	64
思考题	73
第五章 草地灌溉排水技术	74
第一节 低压管道灌溉技术	74
第二节 膜下滴灌灌溉技术	89

第三节	喷灌技术	94
第四节	草地排水工程	107
思考题	109
第六章	草地灌溉节能新技术	110
第一节	太阳能光伏提水灌溉技术	110
第二节	风能提水灌溉技术	113
第三节	自压灌溉技术	116
思考题	120
第七章	牧场供水技术	121
第一节	牧场供水技术概述	121
第二节	牧区人畜饮水工程	122
第三节	牧场供水工程	132
思考题	142
第八章	牧区水土保持技术	143
第一节	概述	143
第二节	水土保持防治措施	144
第三节	水土保持工程设计	148
第四节	实例	155
第九章	灌溉草地效益评价	161
第一节	灌溉草地经济效益分析	161
第二节	灌溉草地国民经济评价	165
第三节	灌溉草地生态效益评价	169
第四节	灌溉草地社会效益评价	172
参考文献	174

第一章 绪 论

第一节 我国牧区概况

一、牧区范围及分区

全国共有牧区、半牧区县（旗、市）268个，牧区总面积为64.89亿亩。我国草原总面积58.9亿亩（含南方草山、草坡），占国土面积的40%，是全国现有耕地面积的3倍。我国与澳大利亚（68.25亿亩）、俄罗斯（55.8亿亩）及美国（55.5亿亩）并称世界四大草地资源大国。我国牧区主要分布于内蒙古、新疆、青海、西藏等边境省（自治区），以及与这些省、区毗连的甘肃、四川、宁夏、吉林等省（自治区）的部分边缘地带；牧区跨越东北、华北、西北及西南的广大地区；北部和西部分别与蒙古、俄罗斯、阿富汗、巴基斯坦、印度等国接壤，国境线长达9000余km，占我国内陆边境线的2/3，大都属于少数民族聚居区。

我国牧区按草地类型和畜牧业生产状况可分为：东北牧区、内蒙古高原牧区、蒙甘宁牧区、新疆牧区和青藏高原牧区。东北牧区主要分布于东北草原区的大兴安岭山前的内蒙古呼伦贝尔市、通辽市、赤峰市、兴安盟以及松辽流域的黑龙江、吉林、辽宁以及河北承德市所属牧业、半农半牧业县（旗、市、场、团）；内蒙古高原牧区和蒙甘宁牧区主要包括内蒙古自治区中西部的锡林郭勒盟、乌兰察布市、包头市、巴彦淖尔市、鄂尔多斯市、阿拉善盟，河北张家口，山西雁北，陕西榆林地区，宁夏固原地区，甘肃祁连山以东所属的牧业、半农半牧业县（旗、市、场、团）；新疆牧区主要包括新疆维吾尔自治区、新疆生产建设兵团、青海柴达木地区所属的牧业、半农半牧业县（旗、市、场、团）；青藏高原牧区主要包括西藏自治区、青海省、四川省西北部以及甘肃省南部、云南省西北部的牧区半牧区县（市）。

二、我国牧区自然概况

1. 地形地貌

我国牧区地形地貌复杂，以高原、丘陵山地和沙漠为主，其中高原面积约占58%，丘陵山地约占23%，沙漠和沙地约占18.6%。贺兰山以西为巨大的内陆盆地，腹地分布有大面积的沙漠和沙地；以东则为广袤的内蒙古高原和千沟万壑的黄土高原。东北牧区海拔100~1600m，自西向东从低山丘陵向平原过渡，区内河网较发育，多湖泊、沼泽地，平原区草原植被较好，低山丘陵沟壑纵横、水土流失严重、植被较差，区内有呼伦贝尔沙地和科尔沁沙地。内蒙古高原牧区海拔500~2000m，地势南高北低，呈缓坡状起伏，境内河网甚少，多为内陆河，分布有浑善达克沙地、乌珠穆沁沙地、毛乌素沙地和库布其沙漠。蒙甘宁牧区海拔1000~3500m，地势东南高、西北低，主要地貌单元有阿拉善高原、河西走廊和黄土高原，分布于巴丹吉林、腾格里、乌兰布和沙漠。新疆牧区地形地貌特征可概括为“三山夹两盆”，自南向北分布有昆仑山、天山和阿尔泰山三大山系，中间是塔

里木和准噶尔两大盆地，盆地中央分别是塔克拉玛干、古尔班通古特两大沙漠，区域内各大山系现代冰川发育良好，是众多内陆河水系的主要补给源。青藏高原牧区海拔 3000~5000m，高峰大多在 6000m 以上，分布有喜马拉雅山、昆仑山、祁连山等主要山系和柴达木盆地、青海湖等内陆湖泊。境内水系发育，高山峡谷相间，中东部为黄河、长江、雅鲁藏布江三江源区。

2. 气候气象

我国牧区位于欧亚大陆腹地，大部分属干旱半干旱地区，为温带、寒温带大陆性气候，光热资源较丰富、四季温差大、干旱少雨、蒸发强烈、风沙多，自然灾害频繁。牧区多年平均降水量 335mm，相当于全国平均水平的 52%。东北牧区降水量 420mm 以上，内蒙古高原牧区降水量 100~400mm，蒙甘宁牧区降水量 50~300mm，新疆牧区降水量 100~200mm，青藏高原牧区降水量 280~500mm。牧区盆地及沙漠腹地的年降水量一般在 10mm 以下。降水年内分配不均，6—9 月降水量约占全年降水量的 70%，干旱地区达 80% 以上。多年平均蒸发量为 1000~3000mm，多年平均气温 5~14℃，大于等于 10℃ 积温 5000~6500℃。蒙甘宁牧区西北风盛行，平均风速在 3m/s 以上，大风日 155~200d，扬尘、扬沙和沙尘暴时有发生。

3. 土壤

我国牧区土壤主要有森林草原土壤（含黑钙土、黑土、灰钙土）、干草原土壤（含栗钙土、棕钙土、灰钙土）、高寒草原土壤（含黑毡土、冷钙土、寒漠土、冻土）、荒漠草原土壤（含灰漠土、灰棕土、棕漠土）及非地带性的风沙土和盐碱土等。森林草原土壤主要分布在东北牧区，约占牧区总土地面积的 8%；干草原土壤主要分布在蒙甘宁牧区、内蒙古高原牧区的各大山体垂直地带，约占牧区总土地面积的 17%；高寒草原土壤主要分布在青藏高原牧区以及新疆牧区三大山系的上部，约占牧区总面积的 25%；荒漠草原土壤主要分布在蒙甘宁牧区西部、新疆牧区和青藏高原牧区的三大盆地周边，约占牧区总土地面积的 30%；风沙及盐碱土主要分布在风蚀严重的蒙甘宁牧区西部及其他牧区的沙漠周边地区，约占牧区总土地面积的 17%。

4. 河流水系

我国牧区河流、湖泊较多，水资源分布不均。北方水量偏小，南方水低地高，开发利用难度大。牧区水系可分为外流河和内陆河两类水系。外流河水系为松花江和辽河、海滦河、黄河、长江、西南诸河、伊犁河、额尔齐斯河等河流的源头和中上游，水量较充沛，水质良好，流域总面积 189.83 万 km²，占牧区土地面积的 42.90%；多年平均径流量 3989.00 亿 m³，约占牧区多年平均径流总量的 81.00%。内陆河水系包括内蒙古高原、河西走廊、青海、新疆、藏北等五大内陆河水系，流域总面积约 252.53 万 km²，占牧区土地面积的 57.10%；多年平均径流量 936.60 亿 m³，占牧区多年平均径流总量的 19.00%。内陆河多数是季节性河流，流量小，长度多为几十千米到二、三百千米，最长的塔里木河达 2000km。

我国牧区现代冰川集中分布在青藏高原牧区及新疆牧区的高山地区，总面积 5.08 万 km²，年融水量 478.15 亿 m³，占全国冰川年融水量的 74.50%。冰川冰雪融水是牧区河流的重要补给来源。

我国牧区有湖泊 6770 多个，多分布在封闭、半封闭的内陆盆地中，以咸水湖和盐湖

为主,总集水面积约4.00万 km^2 ;总蓄水量6248.27亿 m^3 ,占全国湖泊总蓄水量的85%以上。其中淡水湖蓄水量为1468.13亿 m^3 ,占牧区湖泊总蓄水量的23.50%。

5. 水文地质

我国牧区跨越不同的地貌和地质构造单元,水文地质条件极为复杂,地下水的赋存状况和开采条件差异较大。

(1) 东北牧区。基岩山丘区含水层由裂隙风化带构成,泉水流量一般为 $5.3\sim 14\text{m}^3/\text{h}$,矿化度小于 $1\text{g}/\text{L}$;高平原区含水层厚度 $10\sim 20\text{m}$,水位埋深小于 10m ,单井出水量 $3\sim 25\text{m}^3/\text{h}$;河谷平原区含水层厚度 $1\sim 40\text{m}$,水位埋深小于 3m ,从上游至下游单井出水量逐渐增大,一般为 $5\sim 100\text{m}^3/\text{h}$,矿化度小于 $1\text{g}/\text{L}$;嫩江平原区含水层厚度变化较大,一般为 $10\sim 100\text{m}$,水位埋深小于 2m ,单井出水量为 $10\sim 50\text{m}^3/\text{h}$;西辽河平原含水层厚度 100m 左右,水位埋深一般小于 2m ,单井出水量为 $100\text{m}^3/\text{h}$ 左右。

(2) 内蒙古高原牧区。滦河流域和内陆河流域北部山丘区,基岩裂隙水单井出水量 $1\sim 10\text{m}^3/\text{h}$,矿化度小于 $1\text{g}/\text{L}$;高平原区孔隙裂隙水单井出水量 $5\sim 50\text{m}^3/\text{h}$,矿化度 $1\sim 2\text{g}/\text{L}$;黄河流域中部、南部地下水较丰富,单井出水量 $30\text{m}^3/\text{h}$ 左右,东部、西部水量较贫乏,单井出水量小于 $10\text{m}^3/\text{h}$;浑善达克沙地、毛乌素沙地及沙漠边缘地带,地下水较丰富,单井出水量 $10\sim 30\text{m}^3/\text{h}$,水位埋深 $1\sim 3\text{m}$,矿化度小于 $1\text{g}/\text{L}$;北部库布其沙漠富水性较差,单井出水量一般小于 $10\text{m}^3/\text{h}$ 。

(3) 蒙甘宁牧区。内蒙古西部牧区贺兰山山前平原富水性较好,水位埋深 $50\sim 65\text{m}$,含水层厚度 $35\sim 50\text{m}$,单井出水量 $30\sim 80\text{m}^3/\text{h}$,矿化度小于 $1\text{g}/\text{L}$,其余大部分地区水量匮乏,单井出水量小于 $3\text{m}^3/\text{h}$,矿化度较高。甘肃牧区主要为基岩裂隙水,分布不均,单位涌水量 $0.8\sim 200\text{m}^3/(\text{m}\cdot\text{d})$,泉流量 $1.8\sim 15\text{m}^3/\text{d}$ 。阿克塞的苏干湖盆地、肃北的石包城盆地地下水较丰富,含水层岩性为砂、砂砾石,水位埋深 150m ,单井出水量大于 $40\text{m}^3/\text{h}$ 。

(4) 新疆牧区。山间盆地和谷地含水层厚度一般为 $30\sim 90\text{m}$,单井出水量 $30\sim 150\text{m}^3/\text{h}$,水位埋深随地形而变,山前约 100m ,冲洪积扇中部为 $30\sim 100\text{m}$,下游在 $3\sim 5\text{m}$,水质一般较好。塔里木河中下游冲积平原区,含水层岩性为巨厚的粉砂、细砂层,单井出水量可达 $80\text{m}^3/\text{h}$,潜水埋深在近河地段为 $1\sim 3\text{m}$;远离河床为 $3\sim 10\text{m}$,矿化度 $1\sim 3\text{g}/\text{L}$;远离河谷,潜水埋深和矿化度逐渐增大,矿化度可高达 $10\text{g}/\text{L}$ 以上。沙漠边缘和沙丘间低洼处,潜水埋深 $1\sim 4\text{m}$,试坑出水量 $0.01\sim 0.03\text{L}/\text{s}$,矿化度 $1\sim 10\text{g}/\text{L}$;沙漠腹地大部分地区极度贫水。

(5) 青藏高原牧区。青藏高原牧区地下水资源的分布与降水量的地区分布一致。藏南地区地下水补给模数大于 $53\text{万}\text{m}^3/(\text{a}\cdot\text{km}^2)$,藏西北羌塘内陆水系区仅为 $0.89\sim 1.4\text{万}\text{m}^3/(\text{a}\cdot\text{km}^2)$,中部地区处于两者之间。羌塘内陆水系区山间盆地和内陆湖泊星罗棋布,盆地中普遍分布有第四系冻结层上水,水量一般不大,是人畜饮水的重要水源。青海牧区诸山间盆地主要分布有第四系松散岩类孔隙水,含水层厚 $50\sim 100\text{m}$,单井出水量 $18\sim 360\text{m}^3/\text{h}$,水位埋深 $3\sim 100\text{m}$,部分地区大于 100m ,矿化度小于 $1.0\text{g}/\text{L}$ 。盆地中心湖积平原是地下水的排泄区,潜水矿化度高达几十至数百克/升。河谷潜水含水层岩性为卵砾石、砂砾石及粉细砂,厚度 $5\sim 50\text{m}$,钻孔单位涌水量最大可达 $57.70\text{L}/(\text{s}\cdot\text{m})$ 。四川及

云南的山丘基岩裂隙水区泉水众多,但富水性较差,泉水流量多在 $0.05\sim 1.0\text{L/s}$ 之间,其中构造裂隙带和岩溶裂隙水分布区富水性较好,泉水流量分别为 $1.0\sim 2.0\text{L/s}$ 和 10L/s 左右。河谷、盆地及高平原区,第四系潜水含水层厚 $10\sim 295\text{m}$,含水层岩性为砂砾石、中细砂、中粗砂等,单孔出水量可达 $20\sim 145\text{m}^3/\text{h}$,水位埋深 $4\sim 20\text{m}$,水质较好。

三、牧区在我国社会经济发展中的地位

牧区在我国经济社会发展中具有重要的战略地位。草原畜牧业是牧区经济发展的基础产业,是牧民收入的主要来源,是全国畜牧业的重要组成部分。改革开放特别是实施西部大开发战略和“一带一路”倡议以来,牧区生态建设大规模展开,草原畜牧业发展方式逐步转变,牧民生活水平显著提高,牧区发展已经站在新的历史起点上。

1. 从国际国内市场看,对畜产品的需求量加速增长,市场供不应求

从饮食结构看,牛羊肉类所占比例越来越大,需求量逐年上升。畜产品市场总需求量大于总供给的状况将长期存在,畜牧业的发展前景非常广阔。草原畜牧业提供单位畜产品所需要的物化劳动和劳动量都明显少于农区畜牧业。值得一提的是畜产品具有低成本、高产出、无污染的特点,被国际上称作“绿色食品”,备受青睐,是人类食品向高标准、低污染、营养平衡方向发展的必然选择。随着我国经济的发展,人民生活水平的提高,也将很快面临“绿色食品”的供需矛盾。

2. 广阔草原是我国重要的生态屏障

我国牧区的草原从青藏高原往北沿祁连山、天山、阿尔泰山、贺兰山、阴山至大兴安岭西部,绵延 4500 多 km ,形成了一条绿色的自然保护带。地处长江、黄河上游或发源地的草原,不仅直接影响两水系以及下游水域的生态环境,而且在防风固沙、保持水土、净化空气、调节气候等方面都起着极其重要的作用。内蒙古高原、黄土高原以及青藏高原的草原植被状况如何,对于东北平原、华北平原、黄淮海平原和长江、黄河流域地表水、地下水资源的丰歉,以及风、旱、涝水土流失等灾害发生,都有着极为重要的影响。如果没有草原这道天然屏障,我国人民的生存环境是不可想象的。

3. 草原畜牧业的发展关系到我国北方少数民族地区的经济繁荣和社会进步,并对边疆稳定和国家统一具有重大意义

我国牧区的少数民族人口占牧业人口的 $3/4$,草原畜牧业是蒙、藏、哈萨克、维吾尔等十几个少数民族世代经营、赖以生存和发展的基础产业。历史上,草原畜牧业的兴衰与这些民族的兴衰相关。今天,草原畜牧业的发展仍然关系到各民族的团结、进步和共同繁荣。同时,我国牧区大多地处“三北”边陲,与 9 个国家接壤,边境线长达 14000 多 km ,边疆少数民族又多与国外同一民族相邻而居,彼此有着相似或相同的生产特点、风俗习惯和宗教信仰,有着亲友往来和经济文化交流的传统。因此,牧业经济的发展,牧区的繁荣与稳定,可以提高我国的政治影响,显示社会主义制度的优越性,是巩固边防、维护祖国统一的重要保证。由此可见,重视牧区发展,使边疆少数民族尽快富裕起来,不仅是一个重要的经济战略问题,而且也是一个关系到我国长治久安的重大政治问题。

四、牧区草地存在的主要生态问题

1. 草地退化严重,鼠害草地面积呈不断扩大趋势

我国有 84.4% 的草地分布在西部,面积约为 3.31 亿 hm^2 。由于不合理的利用,草原

生态系统遭到严重破坏。据农业部统计,全国草原鼠害发生面积由1996年4.64亿亩增加到2001年6.92亿亩,占草原总面积的11.8%,增幅近50%;其中严重发生面积由1996年的2.82亿亩快速增加到2001年的4.08亿亩,约占草原总面积的7%,增幅达45%。2002年全国草原鼠害成灾面积比近10年来的成灾面积平均数高出了28%,鼠害分布范围已遍及青海、甘肃、宁夏、新疆、西藏、四川、内蒙古等13个省(自治区)。

2. 草地质量持续下降,草地生态承载力降低,草地超载现象越来越严重

我国草地在总面积减少的同时,草地质量也在不断下降。主要表现在草地等级下降、优良牧草的组成比例和生物产量减少、不可食草和毒草比例和数量增加等方面。由于草地质量不断下降,大多数地区的草地承载力也持续下降,如内蒙古、新疆、甘肃的草地承载力显著下降;而草地负载的牲畜数量不仅没有相应下降,反而增加了。各地区草地超载情况越来越严重,其中新疆、内蒙古和宁夏的超载率较高,分别达184%、165%和172%。

3. 草地生态功能下降,沙化草地已成为重要的沙尘源区

草地不但具有重要的经济价值,还具有极其重要的生态调节与保护功能。但长期以来,草地的生态功能及综合价值未受到应有的重视,部分地区把天然草地当作宜农荒地开垦,致使草地面积不断减少。根据遥感数据显示,20世纪90年代的后5年,西部地区所减少草地的54.86%转化为耕地,29.80%转化为未利用土地;再加上过牧、樵采、过垦、滥挖屡禁不止,致使该地区草地植被破坏严重,草地的生态屏障作用日渐降低,成为重要的沙尘源区。

第二节 牧区草地灌溉及其发展趋势

一、牧区草地灌溉发展现状

牧草对水分的需求量一般高于旱地种植的谷类作物,每生产1g干物质约需耗水0.6~0.7kg。草地灌溉对提高牧草的产量和质量,改善草地小气候、增加地面覆盖,防止水土流失和土地沙漠化,具有重要意义。

1. 国外草地灌溉发展现状

澳大利亚、英国、美国和俄罗斯是草地灌溉发展较快的国家。澳大利亚以地面灌溉为主;美国的人工草场多采用喷灌系统,天然草场灌溉设施较少;俄罗斯草地灌区广泛采用拦蓄地面径流和春季融雪水的方法进行漫灌。根据草原所处的自然条件及社会条件的不同,灌溉的主要方式有修建系统性草地灌溉工程、引洪灌溉和蓄水灌溉。

2. 国内草地灌溉发展现状

中华人民共和国成立前,我国的草地畜牧业生产仍然沿袭“逐水草而居”的原始的游牧畜牧业,中华人民共和国成立以来,牧区水利从无到有逐步发展,其中20世纪80年代之前主要集中于解决人畜饮水和开辟缺水草场,使我国的草地畜牧业逐渐摆脱了“逐水草而居”的游牧畜牧业。20世纪60—80年代,各地在解决人畜饮水的同时,兴建草原灌溉工程,发展草原灌溉。到2010年,在内蒙古、新疆、青海、甘肃、四川、西藏实施牧区水利示范项目415项,建成牧区节水灌溉饲草料地104万亩。

从2001—2010年,在水利部示范项目的引导下,内蒙古自治区组织实施“四个千万

亩工程”计划到 2020 年，使全区饲草地节水灌溉面积达到 1000 万亩；新疆维吾尔自治区启动“富民兴牧”工程，在牧区组织兴建 26 座水库，发展饲草料地灌溉，促进牧民定居和草原生态修复。其他省区也因地制宜，极大地发展草原灌溉。

二、牧区草地灌溉发展趋势

1. 高新技术集成应用

随着计算机网络技术、数据库技术、通信技术、自动化控制技术、监测技术、GIS 和遥感技术等信息技术的飞速发展，传统牧区草地灌溉与高新技术的有机集成与应用，将引导牧区草地灌溉未来实现跨越式发展，并为牧区水利研究、建设、管理与决策等方面提供全面的技术支撑，将成为牧区水利未来发展的最大亮点。诸如自动化灌溉控制系统是将计算机技术、传感与监测技术以及通信技术结合起来，能够监测土壤墒情、环境特征，并依据监测结果来确定灌溉水量与灌溉时间，摆脱了传统的凭经验灌溉的粗放模式。并且将灌溉节水技术、农作物栽培技术及节水灌溉工程的运行管理技术有机结合。通过计算机通用化和模块化的设计程序，构筑供水流量、压力、土壤水分、作物生长信息、气象资料的自动监测控制系统，能够进行水、土环境因子的模拟优化，实现灌溉节水、作物生理、土壤湿度等技术控制指标的逼近控制，从而将农业高效节水理论研究提高到新的现实应用水平。

2. 新能源开发利用

新能源开发利用主要包括风力发电、风力提水、太阳能发电、太阳能提水。主要开展牧区户用离网型风力发电关键技术与新型风力提水机组的应用技术研究。目前国内对风力提水机组的研究，也由过去的纯机械式的风力直接提水变为风力发电提水，并且集中在对风轮、动力传输、发电机、控制系统，以及调向机构、调速机构和停车机构等各组成部分的研究上。在机械式的风力提水装置方面，为解决风轮与活塞泵在宽风速范围的高效匹配问题，开展了变行程风力提水技术研究，提出了风轮与活塞泵最佳匹配时行程随风速变化的关系式，研究了变行程提水机组的工作特性，对改善风力提水机组的工作特性有明显效果。

三、牧区草地灌溉的可行性

1. 牧区水资源开发利用水平较低，具有较大开发利用潜力

牧区地处内陆，水汽来量有限，但蒸腾蒸发强烈，降水资源仅 1/3 形成资源量。其中地表水平均径流量为 4650 亿 m^3 ，75% 降雨频率下的年地表水径流量为 3690 亿 m^3 。牧区地下水多年平均总补给量为 1500 万 m^3 ，可开发利用量为 1470 亿 m^3 ，占水资源总量的 27.7%。目前，牧区水资源利用量为 346 亿 m^3 ，仅占牧区水资源总量的 6.5%，是开发利用量的 23.5%。其中地表水利用量仅占 75% 降雨频率下水资源量的 6.88%，地下水实际开采量仅占可开采利用量的 22.12%。据“内蒙古牧区水资源研究报告”，牧区 32 个牧业旗（县），圈定远景水资源开发靶区 83 个，水资源开发利用量 28 亿 m^3 ，而目前的开采量尚不足可开发利用量的 30%。可见牧区水资源虽开发利用难度较高，但仍有很大潜力。

2. 我国草地的潜在生产力较高，具有较好的开发利用前景

草地潜在生产力是指草原在一定植被类型和自然条件下，可能实现的最大生产。我国各地在草地改良与生态建设中，也取得了显著效果。如科尔沁草原，灌溉天然草地综合改

良,干草产量达到 3720~14190kg/hm²;乌兰察布草原灌溉人工草地,干草产量达1520~19260kg/hm²;阿拉善草原灌溉人工草地,干草产量 1250~21900kg/hm²;鄂尔多斯草原灌溉草库伦,干草产量 9750~19860kg/hm²;河北坝上草原引洪淤灌天然草地,干草产量达 6100kg/hm²;柴达木环湖草原灌溉人工草地,干草产量达 3860~14890kg/hm²。由此可知,我国草原的潜在生产力巨大,而现状生产力干草仅为 650kg/hm²。可见,只要依靠科学与技术,适度增加投入,我国草地畜牧业将有极大发展空间。

3. 草地节水灌溉科学技术的发展能够保障牧区水利的健康发展

我国草原灌溉科学研究起步于 20 世纪 70 年代,在我国北方草原完成了大量人工牧草及天然草地灌溉试验研究任务。广大科技工作者紧密联系牧区实际,先后研究解决了主要人工牧草和天然草场的经济灌溉定额、关键灌水期、缺水损失函数、牧草水分生理抗性、优化灌溉制度、经济耗水量、非充分灌溉和抗旱灌溉等节水灌溉技术措施。

近 10 多年来,水利部牧区水利科学研究所总结我国多年灌溉试验研究成果的基础上,先后编著出版了《草原灌溉》《中国牧区水利可持续发展战略》《草原节水灌溉理论与实践》《牧区生态水利理论与技术探索》《草地 SPAC 水分运移消耗与高效利用技术》等科技专著,从理论上深化了这一时期的科技成果,形成了较为完备的草原节水灌溉基础理论技术体系。

4. 节水灌溉社会意识的形成为牧区水利的发展奠定了基础

中央政府明确要求“要大力推行节水灌溉技术”。我国牧区水资源严重匮乏,加之地区间分布的不均衡,部分地区水资源奇缺。从水资源开发利用情况而言,灌溉用水量为 301 亿 m³,占牧区水资源开发利用量的 87.1%,高于全国平均水平。单位灌溉用水量高达 9600m³/hm²,节水潜力巨大。

就我国草原现状而言,全国因饲草不足导致草原过度利用,引发严重的退化沙化。特别是局部水资源的过度利用,造成草原大面积荒芜,如河西走廊的黑河、石羊河、疏勒河及塔里木河地区。据内蒙古农业大学研究成果,典型草原地区地下水位降到 1.7m 以下,草场即发生急速退化。即使是梭梭、胡杨等耐旱荒漠植被,随着地下水位的下降,也将枯萎。严酷的自然条件,使广大牧民较早认识到了节水灌溉的重要性,并付诸行动,以内蒙古灌溉草库伦而言,在起步初期就将节水节能技术与综合高产技术应用于饲草料生产,取得了较好的节水效果和经济社会效益。目前实施的牧区节水示范项目则使更多牧民认识了草地节水灌溉的重要性。

第三节 牧区灌溉草地发展模式

根据发展规模与管理方式,牧区灌溉草地发展模式一般分为三类,即家庭草库伦、牧户联户和公司规模化集约化发展模式。根据灌溉引水方式分为常规灌溉和非常规灌溉发展模式。常规灌溉发展模式与农田灌溉相同,主要包括渠道灌溉、低压管道灌溉、喷灌、滴(微)灌等。非常规灌溉发展模式因灌溉水源和引水方式不同主要有自压灌溉草地发展模式、太阳能风能提水灌溉草地发展模式、山前自流引水衬砌渠道排管出流天然草地灌溉模式、天然草场引洪淤灌发展模式等。

一、家庭草库伦发展模式

1. 模式构成

该模式主要在地下水埋深较浅的沙质草场或居住相对分散、地下水出水量较少的高平原地区,以户为单位,在自家承包的草场内,选择水土资源条件相对较好的地区,进行小面积灌溉草地建设。模式主要包括水源工程、节水灌溉工程、围栏和防护林工程、饲草料综合栽培技术、配套管理技术等。其中,灌溉水源多为地下水,节水灌溉工程多为低压管道灌溉或小型移动式、半固定式喷灌。

2. 技术要点

该模式灌溉面积以20~50亩为宜,防风林带、优质人工牧草、青贮饲料、精饲料作物、蔬菜等种植比例一般为1:6:4:4:1。防风林带宜乔木与灌木结合,一乔二灌或二乔二灌,宜高矮结合,形成疏透结构,林带间距取当地成年乔木的20~25倍。优质人工牧草应选择紫花苜蓿、沙打旺或披碱草、老芒麦、燕麦等,播种量1~2kg/亩,播深2~4cm。青贮饲料作物应选用专用青贮玉米、贮饲兼用玉米。精饲料作物应选用饲用玉米。

灌溉草地采用单个牧户户建、户管、户用,灌溉管理宜采用非充分灌溉技术,在灌好播前水的基础上,视降水情况,豆科牧草须灌好分枝水、开花水;禾本科牧草或饲料作物应灌好拔节水、抽穗水、灌浆水。

3. 适用条件

该模式适用于地下水埋深不超过20m的沙质草地,或地下水位埋深小于20m的高平原干旱半干旱草场。牧民居住极度分散,草畜矛盾尖锐,草原沙化退化严重的地区。土壤以沙壤土、壤沙土、壤土为宜。

二、牧户联户发展模式

1. 模式构成

该模式主要包括水源工程、节水灌溉工程、农艺节水措施、管理节水措施、饲草料综合高产栽培技术、电力配套工程、草地围栏和防护林带、田间道路等。水源多为地下水,主要节水灌溉工程形式为渠道衬砌灌溉、低压管道灌溉、半固定喷灌、大型时针式喷灌。灌溉管理上采用非充分灌溉技术,并结合应用先进的农艺、草业栽培技术。

2. 技术要点

灌溉面积一般在200~3000亩,户均20~50亩。人工牧草与青贮饲料种植比例4:6。光照条件较好的地区,精饲料种植比例应控制在30%以内;光照条件不足或劳动力匮乏的地区,也可全部种植多年生优质人工牧草。

3. 适用条件

该模式适用于具有一定的地表水资源条件或地下水资源丰富,具备相对集中开采条件的地区。由多户牧民自发联合,或由乡、村行政组织协调多户牧户牧民,选择水土资源条件较好的草地,进行灌溉饲草料集中开发建设。

三、公司规模集约化发展模式

1. 模式构成

该模式主要包括水源工程、节水灌溉工程、农艺节水措施、管理节水措施、饲草料综合高产栽培技术、电力配套工程、草地围栏和防护林带、田间道路等。水源工程可开发利

用地下水，也可采用有坝、无坝引取地表水作为灌溉水源。在取用地表水时，视水质情况设置必要的沉淀过滤设施。主要节水灌溉工程形式为大型时针式喷灌、卷盘喷灌。如采用地表水灌溉时也可采用渠道衬砌节水灌溉形式。灌溉管理上采用非充分灌溉技术，并结合应用先进的农艺、草业栽培技术。

2. 技术要点

灌溉面积一般在 3000 亩以上，人工牧草与青贮饲料的种植比例为 4:6。在一些热量条件不足或人力资源匮乏的地区，也可全部种植多年生优质人工牧草。防风林带宜乔灌结合，二乔二灌或三乔二灌，宜高矮结合，形成疏透结构，林带间距取当地成年乔木的 20~25 倍。围栏高 1.5~2.0m，田间生产道路间距 200~500m，宽 3~6m。

3. 适用条件

利用地表水时，宜选择水源稳定，且水质状况较好的地区。利用地下水时，单井出水量宜大于 50m³/h，在单井储水量不足 50m³/h 的地区，应采用多井汇流技术，进行机泵配套时需配套变频控制系统。

四、自压灌溉草地发展模式

1. 模式构成

该模式主要包括山区河道地表水拦截工程（水库）或自留自压需水工程（蓄水池）、管道输水工程和调压减压工程、节水灌溉工程和节水灌溉管理技术以及与之相配套的灌溉草地综合高产栽培技术、围栏和防护林建设工程等。

2. 技术要点

灌溉规模一般在 1000 亩以上，水源水位相对高差不应大于 10m，输水距离应在 20km 之内。灌溉草地地面高程与水源水位高程在 30m 以上，土层厚度 40cm 以上。

3. 适用条件

该模式适用于有稳定水源，能形成自流自压的高平原地区，且山前较平坦，具有发展集约化灌溉草地的土地资源，输水距离小于 30km 的地区。这种地区土质应较肥沃，土层厚度在 40cm 以上，具有相对丰富的劳动力资源，可满足集约化饲草料生产需要。

五、太阳能、风能提水灌溉发展模式

1. 模式构成

该模式主要包括太阳能或风能发电装置，直流逆变及功率跟踪装置，输水及蓄水池工程，灌溉工程，发电、提水及灌溉控制系统以及与之相配套的人工饲草料种植技术，管理节水技术等。

2. 技术要点

灌溉草地面积一般为 5~20 亩，地下水位埋深应小于 20m，动水位应在 30m 之内，风力或太阳能提水站周围应没有遮阳或阻风障碍物。为提高灌溉保证率，需配套建设一定容积的蓄水池，蓄水池容积应与灌溉控制面积相适应，一般应在 50~100m³ 之间，蓄水池容积增大虽可提高灌溉保证率，但相应的投资增加较多。系统管理人员应进行专门的技术培训，大型的太阳能风能提水灌溉系统应设置专门管理人员。灌溉工程应以高标准节水灌溉为宜。

3. 适用条件

该模式适用于具有丰富太阳能或风能资源，水资源、劳动力、电力资源相对较差地区。太阳能提水灌溉，年日照小时数应大于 2800h，年太阳能辐射总量应大于 5000 MJ/cm²，最大连续无光照时间不大于 72h。风力提水灌溉，年平均风速 3.5m/s，有效风能密度储量 40W/m²；年有效风速时间大于 3000h，最大连续无有效风速时数小于 100h，30 年一遇最大风速小于 40m/s；盛行风向的风频应大于 40%，次盛行风向的风频应小于 25%，盛行风向比较稳定。

六、山前自流引水衬砌渠道排管出流天然草地灌溉发展模式

1. 模式构成

该模式一般由乡、村行政统一组织进行建设、管理，或由乡、村组织出面协调多户牧民组织用水协会，在山前选择坡度较缓，且坡向较为均一的天然草地，在山间天然河道上建坝引水或采用无坝引水方式，经衬砌渠道或管道引地表水到山前天然草地发展草地灌溉。主要包括出山口地表水资源截引工程、渠道衬砌工程、天然草场改良技术措施和草地围栏工程等。

2. 技术要点

天然草场需坡度均匀，坡度一般应大于 1/200。衬砌渠道一般采用矩形或梯形混凝土断面，灌溉渠道间距不应大于 500m，配水渠道间距一般在 200~500m 之间，并沿等高线布置。灌水方式采取在距渠堤顶部 20~30cm 处安装一排 PVC 或 PE 出水管，将水引入渠旁的天然草场内进行连续性的小管径出流顺坡漫灌。PVC 或 PE 管安装间距依天然草场坡度而定，间距一般控制在 5~10m 之间。为减轻天然草场地面冲蚀，在小管出水口处设置直径 30~50cm，深 20cm 的卵碎石防冲坑，出流防冲坑卵碎石应级配合理，以不被水流冲走为宜。天然草场土层厚度不小于 30cm，植被盖度应在 50% 以上。为大幅度提高天然草场产量，达到节水增产目的，应结合进行天然草场综合改良。一般采取补播优良牧草、切根松耙、施肥（农家肥或化肥）以及节水管理技术措施，补播优良牧草应以当地优质草种为宜，禾、豆、菊科混播，播种量 1~2kg/亩。

3. 适用条件

该模式适用于具有较好的自流引水条件，且地表水资源较为丰富、天然草场坡度均匀性好、土壤与植被盖度较好地区。距引水点距离较近，一般不应大于 10km。

七、天然草场引洪淤灌发展模式

1. 模式构成

该模式主要包括河道引洪运洪工程、渠道衬砌工程、天然草场改良技术以及管理技术措施等。

2. 技术要点

引水距离一般不大于 20km。河道具有较好的取引水条件，地表水资源较为丰富，且泥沙含量较高，水质富含有机质。坡度均匀，土层厚度在 20cm 以上，原生植被具有较高的潜在生产力。工程建成后需由专门的运行管理机构进行工程管理。

3. 适用条件

该模式一般工程规模较大，灌溉控制面积相对较多，主要适用于多泥沙河道的二级阶

地以及河漫滩，具有大面积开阔平坦的天然草场，且退化沙化较为严重，草场盖度不足30%的地区。

第四节 课程内容及目标

“牧区水利工程学”是农业水利工程专业的基础课程之一，其包含灌溉排水、水土保持、工程经济等多个学科的内容。本书尽量满足农业水利工程专业对所需的基础知识、基本理论和基本技能的学习实践要求。同时根据牧区现代化和可持续发展的需要，以水利工程设计规划为主线，阐述了牧区水草畜平衡分析、牧区水资源开发利用、草地需水量与灌溉制度、草地灌溉排水技术、草地灌溉节能新技术、牧场供水技术、牧区水土保持技术、灌溉草地效益评价等内容，系统地介绍牧区水利工程规划设计中所涉及的内容。学生通过本课程的学习，可掌握牧区的水资源和草畜的平衡分析的方法，掌握草地需水量和灌溉制度的制定，掌握适合于牧区草地灌溉的不同灌溉方式的水源、管网布设、轮灌制度、水力计算等过程的原理与设计过程，掌握牧区牧场人畜饮水工程和供水工程的设计步骤，了解牧区水土保持措施和工程设计的基本过程，系统地了解灌溉草地经济、国民经济、社会效益的评价体系和过程。并在部分章节中介绍了国内外先进的新技术和新成果，以增强学生的知识面和创新意识。使学生具有从事本专业的工程设计、科研能力和工作必备的理论基础。