

主编 马巍
副主编 牛富俊

寒旱区工程与 环境研究

——程国栋院士七十华诞学术研讨会文集
Research Monograph of Cold and Arid
Regions Engineering and Environment
—A Collection of the Papers Dedicated to
The 70th Birthday of Academician
CHENG Guodong



兰州大学出版社

寒旱区工程与环境研究

——程国栋院士七十华诞学术研讨会文集

Research Monograph of Cold and Arid
Regions Engineering and Environment
—A Collection of the Papers Dedicated to
The 70th Birthday of Academician
CHENG Guodong

主 编	马 巍
副主编	牛富俊
编 委	赖远明 吴青柏 刘光琇
	李 新 冯 起 徐中民
	赵文智 曲建军 张耀南
	王贵荣 王 建 冯虎元



兰州大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

寒旱区工程与环境研究:程国栋院士七十华诞学术研讨会文集/马巍主编. —兰州:兰州大学出版社,
2012.5

ISBN 978-7-311-03917-2

I. ①寒… II. ①马… III. ①寒带—干旱区—环境工程—文集 IV. ①X321-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 108214 号

责任编辑 魏春玲 张萍

封面设计 张友乾

书名 寒旱区工程与环境研究
——程国栋院士七十华诞学术研讨会文集
主编 马巍
副主编 牛富俊
出版发行 兰州大学出版社 (地址:兰州市天水南路 222 号 730000)
电话 0931-8912613(总编办公室) 0931-8617156(营销中心)
0931-8914298(读者服务部)
网址 <http://www.onbook.com.cn>
电子信箱 press@lzu.edu.cn
印刷 兰州人民印刷厂
开本 787 mm×1092 mm 1/16
印张 41.5 (插页 4)
字数 865 千
版次 2012 年 6 月第 1 版
印次 2012 年 6 月第 1 次印刷
书号 ISBN 978-7-311-03917-2
定价 165.00 元

(图书若有破损、缺页、掉页可随时与本社联系)



程国栋院士

程国栋院士简历

程国栋，1943年7月生，上海人，1965年毕业于北京地质学院（现中国地质大学）水文地质与工程地质专业，现为中国科学院寒区旱区环境与工程研究所研究员，博士生导师，中国科学院院士，俄罗斯工程科学院院士。研究方向：冻土学、水文水资源。

工作简历

1965—1978年	中科院冰川冻土沙漠所	研究实习员
1978—1983年	中科院兰州冰川冻土所	副主任 助理研究员
1983—1986年	中科院兰州冰川冻土所	主任 副研究员
1984—1986年	美国陆军寒区研究和工程实验室	进修 名誉研究员
1986—1990年	中科院兰州冰川冻土所	主任 研究员
1990—1991年	中科院兰州冰川冻土所	副所长 研究员
1991—1999年	中科院兰州冰川冻土所	所长 研究员
1996—2005年	冻土工程国家重点实验室	主任 研究员
1998—2012年	中科院兰州分院	院长
1999—2001年	中国科学院寒区旱区环境与工程研究所	所长

学术社会团体任职

1983—1988年	国际雪冰委员会地下冰分会	主席
1988—1993年	国际冻土协会	副主席
1993—1998年	国际冻土协会	主席
1993年11月	当选为中国科学院院士	
1993—2005年	世界数据中心 WDC-D 冰川冻土分中心	主任
1995—2004年	中国地理学会冰川冻土分会	主任
1995—2011年	中国地理学会	常务理事
1996—至今	西部资源环境科学研究中心	首席科学家
1983—2011年	《Cold Regions Science and Technology》(荷兰)	编辑委员会委员
1990—至今	《Permafrost and Periglacial Processes》(英国)	编辑委员会委员
2000—至今	《冰川冻土》	主编
2000—2008年	国家自然科学基金委第四届全委会	委员
2001—至今	甘肃省科技教育领导小组	成员
2001—至今	中国科学院第六届学位委员会	成员
2001—至今	甘肃省西部大开发领导小组	副组长
2001—至今	甘肃省科协	副主席
2008—至今	国家自然科学基金委地学部	主任
2009—至今	《Sciences in Cold and Arid Regions》(中国)	主编
2009年9月	当选俄罗斯工程科学院院士	

一个融合了我国现有冻土图和模型模拟结果的 中国冻土分布图

李新,冉有华,南卓铜,金会军

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所 冻土工程国家重点实验室,
甘肃 兰州 730000)

摘要:从上世纪 60 年代开始,我国陆续出版了一系列的冻土图,比例在 1:600000 到 1:10000000 之间,这些图件代表了我国在过去的半个世纪中对多年冻土分布的阶段认识,但他们在分类系统、数据源、制图方法等方面存在较大的不同。为了更加合理地反映我国冻土的分布,我们在分析现有冻土图的基础上,制备了一个新的冻土分布图,该图融合了现有的多个冻土图、青藏高原多年冻土分布的模型模拟结果以及东北地区的高纬度多年冻土分布的最新研究成果,以更高的分辨率反映了我国冻土的分布状况。根据新的冻土图统计得到的我国多年冻土面积约为 $1.59 \times 10^6 \text{ km}^2$ (不包括冰川和湖泊),其中,分布在我国东北地区的高纬度多年冻土 $0.24 \times 10^6 \text{ km}^2$,分布在青藏高原及西北山区的高海拔多年冻土 $1.35 \times 10^6 \text{ km}^2$ 。在高海拔多年冻土中,高山多年冻土约 $0.30 \times 10^6 \text{ km}^2$,高原多年冻土约 $1.05 \times 10^6 \text{ km}^2$ 。

关键词:冻土制图;多年冻土;季节冻土;青藏高原

A Frozen Ground Distribution Map of China by Integrating Existing Permafrost Maps and Modeling Results

LI Xin, RAN You-hua, NAN Zhuo-tong, JIN Hui-jun

(State Key Laboratory of Frozen Soil Engineering, CAREERI, CAS, Lanzhou Gansu 730000, China)

Abstract: Numerous permafrost maps have been compiled in China since the early 1960s. The scales of these maps range from the local (1:600000) to regional scales (1:10000000). The permafrost classification systems differ significantly among these maps. The indices and criteria for permafrost classification used in these mapping projects include spatial continuity (areal extent) and thickness of permafrost, air and/or ground (surface) temperatures, and ground ice content. All of those data have been digitized and published in the Environmental

* 作者简介: 李新(1969-),男,甘肃酒泉人,研究员,主要从事陆面数据同化、遥感和 GIS 在冰冻圈和水文资源研究中的应用、流域集成研究. E-mail: lixin@lzb.ac.cn

and Ecological Science Data Center for West China (<http://westdc.westgis.ac.cn>). An updated map of frozen ground in China, which has integrated the existing frozen ground maps and modeling results, is presented in this paper. The total area of permafrost in China is estimated at approximately $1.59 \times 10^6 \text{ km}^2$ (excluding glaciers and lakes), and the area of seasonally frozen ground (excluding instantaneous frozen ground) is about $5.36 \times 10^6 \text{ km}^2$. The total area of high-altitude (plateau and alpine) permafrost in China is approximately $1.35 \times 10^6 \text{ km}^2$, in which the area of alpine permafrost is approximately $0.30 \times 10^6 \text{ km}^2$ and the area of plateau permafrost is approximately $1.05 \times 10^6 \text{ km}^2$. The latitudinal permafrost is distributed in the northern part of Northeastern China, and its area is approximately $0.24 \times 10^6 \text{ km}^2$.

Key Words: Permafrost mapping; permafrost; seasonally frozen ground; Qinghai-Tibet Plateau

1 我国现有冻土图

冻土图是开展冰冻圈基础研究以及冻土工程及冻土区环境变化研究的最基础资料之一。气候变化引起的多年冻土退化及其所带来的环境和工程问题已经或正在显现 (Jin et al., 2000, 2006; Cheng and Wu, 2007; Wu and Zhang, 2008; Li, 2008), 相关研究对冻土分布现状信息的需求更加突显了冻土图的重要性。

从上世纪 60 年代, 中国科学院兰州冰川冻土研究所(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所)等研究机构出版了多种全国和区域性的多年冻土分布图, 包括: 中国冻土分布图(周幼吾和郭东信, 1982; 崔之久, 1980; 童伯良, 1975), 1:400 万中国冰雪冻土图(施雅风和米德生, 1988; 米德生, 1990), 1:1000 万中国冻土区划与类型图(邱国庆等, 2000), 1:400 万中国冰川冻土沙漠图(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 2006)和环北极多年冻土和地下冰分布图中国子集(Brown et al. 1997, 1998)。区域性的冻土图主要包括: 1:300 万青藏高原多年冻土图(李树德和程国栋, 1996), 1:60 万青藏公路沿线多年冻土图(童伯良等, 1983), 1:200 万东北大小兴安岭多年冻土图(东北多年冻土研究协作组, 1983; 郭东信, 1981), 1:300 万祁连山冻土分布图(郭鹏飞, 1983), 1:1000 万中国天山及相邻地区冻土分布图(邱国庆等, 1983)等。以下按制图的时间顺序分别介绍主要的冻土图。

1.1 青藏公路沿线多年冻土图

青藏公路沿线多年冻土图(1:60 万)(童伯良等, 1983)是中国科学院寒区旱区环境与工程研究所(原中国科学院兰州冰川冻土研究所)童伯良、李树德、卜觉英、邱国庆等编制的, 其在空间上覆盖了北起青藏公路的西大滩、南至当雄的长达近 800 km, 宽约 40~50 km 的范围。编制该图的目的在于反映公路沿线多年冻土层分布的基本规律及其与主要自然环境因素的关系。编制该图的基础资料包括有: 青藏公路沿线 1:200 000 水文地质和工程地质调查和图件(青海省第一水文地质工程地质大队和地质科学院地质

力学研究所,未发表);中国科学院兰州冰川冻土研究所自1960年以来在青藏公路沿线的西大滩、昆仑山垭口盆地、清水河、风火山、沱沱河等九个地点的冻土观测成果;格尔木—拉萨输油管线的钻探资料以及工作区的航测地形资料。为了弥补沿线更大范围内资料的不足,把公路沿线九个冻土研究点上探明的冻土特征规律应用于地质地理条件雷同的地段,同时利用航片补充编图区的冻融地质作用和冻土特征。本图反映了1960年代青藏公路沿线多年冻土分布。

1.2 中国冰雪冻土图

中国冰雪冻土图(1:400万)(施雅风和米德生,1988)中冻土分布图的编制依据是:冻土调查和勘探的实际资料,遥感资料的判译,影响冻土形成和分布的气温条件及地形特征。该图综合考虑海拔和纬度,结合多年冻土的连续性将冻土划分为:高纬度多年冻土的大片多年冻土、岛状融区多年冻土和岛状多年冻土;高海拔多年冻土和高山多年冻土(包括阿尔泰山、天山、祁连山、横断山、喜马拉雅山及中国东部的太白山、黄岗梁和长白山)和高原多年冻土(青藏高原),高原多年冻土又分为大片多年冻土和岛状多年冻土;季节冻土、瞬时冻土和无冻土区。该图的分类系统如表1所示。

表1 中国冰雪冻土图冻土分类系统的定义

冻土类型			定义	
多年冻土	高纬度多年冻土	大片连续多年冻土		连续系数>65%
		岛状融区多年冻土		连续系数在65%~30%
		岛状多年冻土		连续系数在30%~5%
	高海拔多年冻土	高原多年冻土	大片连续多年冻土	连续系数≥65%
			岛状多年冻土	连续系数在<65%
	高山多年冻土			
季节冻土				保存时间在一个月以上,一年以下
瞬时冻土				保存时间不足一个月

1.3 青藏高原冻土图

青藏高原冻土图(1:300万)(李树德和程国栋,1996)是中国科学院兰州冰川冻土研究所冻土工程国家重点实验室根据多年冻土研究的第一手资料及前人研究论文、文献并详细研究与参阅了航空像片、卫星影像及青藏公路沿线多年冻土图(1:60)万(童伯良等,1983)、祁连山地貌图(1:100万)(中国科学院地理研究所,1985)、青藏高原自然景观图(1:300万)(中国科学院地理研究所,1990)、青藏高原第四纪冰川遗迹分布图(1:300万)(李炳元和李吉均,1991)、南水北调西线工程通天河—雅鲁江调水区冻土遥感图(1:50万)(中国科学院兰州冰川冻土研究所,1995)、中国冰雪冻土图(1:400万)(施雅风和米德生,1988)。该图将冻土分为:大片连续多年冻土、岛状多年冻土、零星分散的多年冻土和季节冻土,瞬时冻土。各类冻土的划分依据如表2所示。

表 2 青藏高原冻土图冻土类型的定义

冻土类型	地表温度	年平均气温	冻土保存时间	冻融特征
多年冻土	年平均地表温度<0.1℃	大片连续的为<-3.6℃;不连续的为-0.8~-3.6℃	>2 年	季节融化
季节冻土	最低月平均地表温度<0℃		>1 月	不连续冻结、季节冻结
瞬时冻土	极端最低地表温度<0℃		<1 月	不连续冻结夜间冻结

1.4 环北极多年冻土和地下冰分布图中国子集

环北极多年冻土和地下冰分布图是 1997 年国际冻土协会联合多个国家的冻土研究机构编制的目前唯一的一个全球冻土图。该图描述了北半球(北纬 20° 至北纬 90°)多年冻土的分布与属性及地下冰条件,中国区域的数据主要来源于中国冰雪冻土图(施雅风和米德生,1988)。该图根据连续性划分冻土范围,将多年冻土划分为连续(90%~100%)、不连续(50%~90%)、零星(10%~50%)、岛状(<10%)和无多年冻土。最上层 20 米的地下冰丰度按照冰的体积百分比划分(>20%, 10%~20%, <10% 和 0%)。

1.5 中国冻土区划及类型图

中国冻土区划及类型图(1:1000 万)(邱国庆 等,2000)采用了区划和类型双层体系,在同一份图上同时用区划体系和类型体系来反映在各个级别上冻土形成和分布的共性与个性。

区划体系包括三个冻土大区:(I)中国东部冻土大区;(II)中国西北冻土大区;(III)中国西南(青藏高原)冻土大区。在三个大区的基础上,又进一步划分出 16 个区及下面的若干亚区。

类型体系基于冻土连续性、冻土存在的时间和季节冻结深度,划分为 8 个类型,各类型界线主要取自中国冰雪冻土图(1:400 万)(施雅风 等,1988)并参考了一些新资料,而季节冻土界线则主要以气象站资料为依据。各类型的定义如下:

- (1) 大片多年冻土:连续系数为 90%~70%;
- (2) 大片-岛状多年冻土:连续系数为 70%~30%;
- (3) 稀疏岛状多年冻土:连续系数为 <30%;
- (4) 山地多年冻土;
- (5) 中深季节冻土:可能达到的最大季节冻结深度>1m;
- (6) 浅季节冻土:可能达到的最大季节冻结深度<1m;
- (7) 瞬时冻土:保存时间不足一个月;
- (8) 非冻土。

1.6 中国冰川冻土沙漠图

中国冰川冻土沙漠图(1:400 万)(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所,2006)中

的冻土分布考虑到与全球冻土分类系统的统一,将多年冻土分为五类,包括:

- (1)不连续多年冻土:连续系数50%~90%;
- (2)岛状多年冻土:连续系数<50%;
- (3)高原不连续多年冻土:连续系数50%~90%;
- (4)高原岛状多年冻土:连续系数50%~90%;
- (5)高山多年冻土。

冻土图的编制依据包括:(1)冻土野外调查、勘探实测资料;(2)航空像片和卫星影像判译;(3)气温和地温观测资料。其中,青藏高原冻土分布采用了南卓铜等(2002)的地温模拟结果。以年平均地温0.5℃作为多年冻土与季节冻土的界限,参考中国冰雪冻土图(1:400万)(施雅风等,1988)划定高原不连续多年冻土与高原岛状多年冻土的界限。另外,参考东北大小兴安岭多年冻土分区图(郭东信等,1981)、环北极多年冻土和地下冰分布图(Brown et al., 1997)和最新野外实测资料,对东北的多年冻土界线进行了修订;西北高山多年冻土界线多采用了中国冰雪冻土图(1:400万)(施雅风等,1988)中划定的界线。

2 一个融合了现有冻土图和模型模拟结果的中国冻土分布图

2.1 制图方法

总览我国现有的各种冻土图,他们在分类系统、数据源、制图方法等方面存在较大的不同,这些图件代表了我国在过去的半个世纪中对多年冻土分布的阶段认识。为了更加合理地反映我国冻土的分布,并统计出我国冻土分布面积,我们在分析现有冻土图的基础上,制备了一个新的冻土分布图,该图融合了现有多个冻土图和青藏高原多年冻土分布的模型模拟结果。

新的冻土图(图1)中,各种冻土类型的分布按以下原则确定:

1. 底图采用中国冻土区划及类型图(1:1000万)(邱国庆等,2000)。青藏高原以外的高山多年冻土和瞬时冻土的分布沿用原图;季节冻土和瞬时冻土、瞬时冻土和非冻土的界限也均无变化。青藏高原地区的多年冻土和东北地区高纬度多年冻土的分布则采用以下结果更新。

2. 青藏高原区域的高海拔多年冻土和高山多年冻土分布采用南卓铜等(2002)的模拟结果进行更新。该模型利用青藏公路沿线76个钻孔实测年平均地温数据,进行回归统计分析,获取年平均地温与纬度、高程的关系,并基于该关系,结合GTOPO30高程数据(美国地质调查局地球资源观测与科技中心领导下发展的全球1km数字高程模型数据)模拟得到整个青藏高原范围上的年平均地温分布,再以年平均地温0.5℃作为多年冻土与季节冻土的界限。

3. 东北地区的高纬度多年冻土分布采用了Jin et al. (2007)的最新结果。Jin et al. (2007)通过对过去几十年东北年平均降水和土壤水分的分析,认为东北地区的多年冻土南界与年平均气温的关系在过去几十年中没有发生实质变化。因此,和过去应用的规则

相同,根据33个气象站1991—2000年十年的年平均气温插值得到的气温等值线对东北的多年冻土南界做了重新划定,即在东北的西部、中部和东部采用的指标分别是0℃到-1.0℃、0℃和0℃到1℃。

4. 其他地区的高山多年冻土分布采用中国冰川冻土沙漠图(1:400万)(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所,2006)更新。

在分类系统方面,现有的冻土图对多年冻土的划分多采用连续性标准,但对连续性的具体定义有很大不同。很多研究表明,连续性标准是一个与尺度密切相关的概念,并不适合于高海拔多年冻土的分类(程国栋,1984; Cheng et al., 1992),且该标准无法应用于以网格为基本模拟单元的多年冻土分布模型。在本文中,我们放弃了连续性标准,而以制图单元(网格或区域)内是否存在冻土为标准。新的冻土图将我国冻土分为以下几类:

- (1)高纬度多年冻土;
- (2)高海拔多年冻土;
- * 高原多年冻土
- * 高山多年冻土
- (3)中深季节冻土:可能达到的最大季节冻结深度>1 m;
- (4)浅季节冻土:可能达到的最大季节冻结深度<1 m;
- (5)瞬时冻土:保存时间不足一个月;
- (6)非冻土。

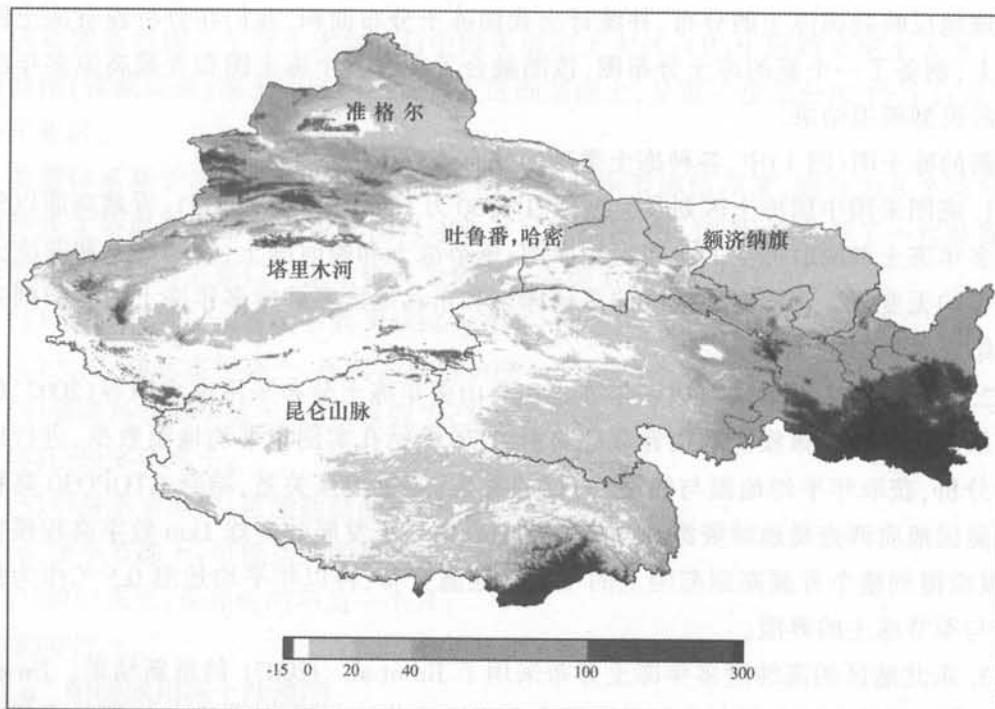


图1 融合了现有冻土图和模型模拟结果的中国冻土分布图

2.2 冻土分布面积统计结果

根据融合得到的新的冻土图,结合中国湖泊分布图(马荣华等,2011)和中国冰川分布图(施雅风,2005;吴立宗等,2004),统计得到的我国冻土分布面积如表3。根据统计,如果将冻土区的冰川和湖泊剔除,我国多年冻土面积约为 $1.59 \times 10^6 \text{ km}^2$,约占我国陆地面积的16.56%,其中,包括分布在我国东北地区的高纬度多年冻土 $0.24 \times 10^6 \text{ km}^2$ 和分布在青藏高原及西北山区的高海拔多年冻土 $1.35 \times 10^6 \text{ km}^2$ 。在高海拔多年冻土中,高山多年冻土约 $0.30 \times 10^6 \text{ km}^2$,高原多年冻土约 $1.05 \times 10^6 \text{ km}^2$ 。需要说明的是,图1和表3给出的冻土分布面积与以前的冻土图的冻土区面积已不是同一个概念,其制图原则——特别是青藏高原地区是基于以网格为单元的模型模拟,而不是采用基于气候要素的区域制图原则。前者的结果反映的是制图单元上冻土存在与否,而非存在的比例(连续性原则)。因此,由本图得到的我国多年冻土分布面积,和已有文献中有较大区别,且明显小于这些文献中的多年冻土面积。但如果在过去的冻土区面积统计结果的基础上,乘以连续性系数,估算真实的我国多年冻土面积,则和本文结果类似。例如,如果考虑连续性系数,Zhao et al (2004)即认为我国多年冻土面积只有约 $1.49 \times 10^6 \text{ km}^2$ 。

表3 中国冻土分布面积统计

冻土类型	冻土分布面积 / 10^6 km^2	
	包括冰川和湖泊	不包括冰川和湖泊
多年冻土	1.65	1.59
高海拔多年冻土	1.41	1.35
高山多年冻土	0.31	0.30
高原多年冻土	1.10	1.05
高纬度多年冻土	0.24	0.24
季节冻土	5.41	5.36
瞬时冻土	1.73	1.71

3 小结

现有的冻土分布图是我国不同时期冻土研究的阶段性总结,反映了不同时期对我国冻土分布的认识水平。

根据模拟的青藏高原多年冻土分布结果和东北地区多年冻土分布的最新研究成果,融合已有冻土图和这些新成果,制备了一个新的中国冻土分布图。新的冻土图综合利用了迄今为止已发表的各种冻土分布资料,具有更高的可靠性和空间分辨率,反映了2000年左右我国冻土的分布状况。

4 补记

本文中所述及的各种冻土图已由世界数据中心(WDC)兰州冰川冻土学科中心数字

化,可从中国西部环境与生态科学数据中心(<http://westdc.westgis.ac.cn>)下载。

参考文献(References)

- [1] Jin H J, Li S X, Cheng G D, et al. Permafrost and climatic change in China[J]. Global and Planetary Change. 2000, 26 (4): 387–404.
- [2] Jin H J, Zhao L, Wang S L, et al. Thermal regimes and degradation modes of permafrost along the Qinghai-Tibet Highway[J]. Science in China Series D-Earth Sciences, 2006, 49 (11): 1170–1183.
- [3] Cheng G D, Wu T H. Responses of permafrost to climate change and their environmental significance, Qinghai-Tibet Plateau[J]. Journal of Geophysical Research, 2007, 112 (F02S03), doi:10.1029/2006JF000631.
- [4] Wu Q B, Zhang T J. Recent permafrost warming on the Qinghai - Tibetan Plateau [J]. Journal of Geophysical Research. 2008, 113.
- [5] Li X, Cheng G D, Jin H J, et al. Cryospheric Change in China[J]. Global and Planetary Change, 2008, 62(3–4): 210–218.
- [6] Zhou Y W, Guo D X. Principal characteristics of permafrost in China[J]. Journal of Glaciology and Cryopedology, 1982, 4(1): 1–19. [周幼吾, 郭东信. 我国多年冻土的主要特征[J]. 冰川冻土, 1982, 4(1): 1–19.]
- [7] Cui Zhijiu, Zhou Youwu. Permafrost and Periglacial Landform[M]/Physical Geography of China (Volume of Physiognomy). Beijing: Science Press, 1980. [崔之久, 周幼吾. 多年冻土与冰缘地貌[M], 中国自然地理(地貌), 北京: 科学出版社, 1980.]
- [8] Tong Boliang, Zhou Youwu (Eds). Permafrost Distribution Map in China[Z]. Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, Chinese Academy of Sciences. 1975. [童伯良, 周幼吾 编. 中国冻土分布图[Z]. 中国科学院兰州冰川冻土研究所. 1975]
- [9] Shi Yafeng, Mi Desheng. Map of Snow, Ice and Frozen Ground in China (1: 4,000,000)[M]. Beijing: Cartographic Publishing House, China.[施雅风, 米德生. 中国冰雪冻土图(1:400万)[M]. 北京: 中国地图出版社. 1988.]
- [10] Mi Desheng. Map of Snow, Ice and Frozen Ground in China[J]. Journal of Glaciology and Cryopedology. 1990, 12(2): 175–181. [米德生. 《中国冰雪冻土图》(1:400万)的编制[J]. 冰川冻土, 1990, 12(2): 175–181.]
- [11] Qiu G Q, Zhou Y W, Guo D X, et al. The Map of Geocryological Regionalization and Classification in China [M]/Zhou YW, Guo DX, Qiu GQ, Cheng GD, and Li SD (eds) Geocryology in China. Beijing: Science Press,. 2000.450. [邱国庆, 周幼吾, 郭东信, 程国栋, 李树德. 中国冻土区划及类型图[M]/周幼吾, 郭东信, 邱国庆, 程国栋, 李树德. 中国冻土. 北京: 科学出版社, 2000.]

- [12] Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute (CAREERI), Chinese Academy of Sciences (CAS). Map of the Glaciers, Frozen Ground and Deserts in China (1:4,000,000) [M]. Beijing: SinoMaps Press, 2006. [中国科学院寒区旱区环境与工程研究所. 中国冰川冻土沙漠图(1:400万)[M].北京: 中国地图出版社, 2006.]
- [13] Brown J, Ferrians Jr O J, Heginbottom J A, et al. Circum-Arctic Map of Permafrost and Ground-ice Conditions[M]. Washington, DC: U.S. Geological Survey in Cooperation with the Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources. Circum-Pacific Map Series CP-45, scale 1:10,000,000, 1997.
- [14] Brown J, Ferrians Jr O J, Heginbottom J A, et al. Circum-arctic Map of Permafrost and Ground ice Conditions [M/CD]. Boulder, CO: National Snow and Ice Data Center/World Data Center for Glaciology. Digital media, 1998.
- [15] Li S D, Cheng G D. Map of Permafrost on the Qinghai-Tibet Plateau (1:3,000,000) [M]. Lanzhou: Gansu Culture Press, 1996. [李树德, 程国栋. 青藏高原冻土图 [M]. 兰州: 甘肃文化出版社, 1996.]
- [16] Tong Bolian, Li Shude, Pu Jueying, et al. Principle and method of compilation of map of the distribution of permafrost along the Qinghai-Tibetan Highway (1:600,000) [C]. In: Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, Chinese Academy of Sciences (eds). Proceedings of the 2nd Chinese Conference on Glaciology and Geocryology. Lanzhou: Gansu People's Press, 1983, 75-80. [童伯良, 李树德, 卜觉英, 邱国庆. 青藏公路沿线多年冻土图(1:60万)编制原则与方法[C]//第二届全国冻土学术会议论文选集. 兰州: 甘肃人民出版社, 1983, 75-80.]
- [17] Guo Dongxin, Wang Shaoling, Lu Guowei, et al. Division of permafrost regions in Daxiao Hinggan Ling northeast China [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1981, 3(3): 1-9. [郭东信, 王绍令, 鲁国威, 戴竞波, 李恩英. 东北大小兴安岭多年冻土分区[J]. 冰川冻土, 1981, 3(3): 1-9.]
- [18] Northeast Permafrost Cooperative Research Group. The basic characteristics of the Northeast permafrost distribution in China [C]//Proceedings of the 2nd Chinese Conference on Glaciology and Geocryology. Lanzhou: Gansu People's Press, 1983:36-42. [东北多年冻土研究协作组. 中国东北多年冻土分布的基本特征[C]//第二届全国多年冻土学术会议论文集. 兰州: 甘肃省人民出版社, 1983:36-42.]
- [19] Guo Pengfei. Permafrost in the Qilian Mt. areas. Proceedings of the 2nd Chinese Conference on Glaciology and Geocryology[C]. Lanzhou: Gansu People's Press, 1983. 30-35. [郭鹏飞. 祁连山地区的多年冻土[C]. 第二届全国冻土学术会议论文选集. 兰州: 甘肃人民出版社, 1983 :30-35]
- [20] Qiu Guoqing, Huang Yizhi, Li Zuofu. Basic Characteristics of permafrost in Tian

- Shan, China [C]//Proceedings of the 2nd Chinese Conference on Glaciology and Geocryology. Lanzhou: Gansu People's Press, 1983: 1–14. [邱国庆, 黄以职, 李作福. 中国天山地区冻土的基本特征[C]//第二届全国冻土学术会议论文选集. 兰州: 甘肃人民出版社, 1983:1–14.]
- [21] Institute of Geographic Science, Chinese Academy of Sciences (IGS/CAS) (Eds). Geomorphic Map of Middle Part of the Qilian Mountains [Z]. Beijing: SinoMaps Press, 1985. [中国科学院地理研究所 编. 祁连山中部地区 1:100 万地貌类型图[Z].北京: 中国地图出版社, 1985.]
- [22] Institute of Geographic Science, Chinese Academy of Sciences (IGS/CAS) (Eds). Landscape Map of the Qinghai-Tibetan Plateau (1: 3000, 000) [Z], 1990.[中国科学院地理研究所 编.《青藏高原自然景观图》(1:300 万)[Z], 1990.]
- [23] Li Binyuan, Li Jijun. Quaternary Glacial Distribution Map of the Qinghai-Tibetan Plateau (1:3,000,000) [M]. Beijing: Science Press, 1991.[李炳元, 李吉均 编. 青藏高原第四纪冰川遗迹分布图(1:300 万)[M]. 北京: 科学出版社, 1991.]
- [24] Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, Chinese Academy of Sciences. Remote sensing image for frozen ground of the West Route of South-to-North Water Transfer Project – the Tongtian River to the Yalong River Transfer region (1:500, 000) [Z], 1995. (In Chinese). [中国科学院兰州冰川冻土研究所. 1:50 万南水北调西线工程通天河-雅砻江调水区冻土遥感图[Z], 1995.]
- [25] Li Bingyuan. On the extent of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau[J]. Geographical Research, 1987, 6(3): 57–63.[李炳元. 青藏高原的范围[J]. 地理研究, 1987, 6(3): 57–63.]
- [26] Nan Zhuotong, Li Shuxun, Liu Yongzhi. Mean annual ground temperature distribution on the Tibetan plateau: Permafrost distribution mapping and further application[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2002, 24 (2): 142–148.[南卓铜, 李述训, 刘永智. 基于年平均地温的青藏高原冻土分布制图及应用[J]. 冰川冻土, 2002, 24 (2): 142–148.]
- [27] Jin Huijun, Yu Qihao, Lu Lanzhi, et al. Degradation of Permafrost in the Xing'anling Mountains, Northeastern China[J]. Permafrost and Periglacial Processes, 2007, 18: 245 – 258.
- [28] Cheng G D. Problems on zonation of high-altitude permafrost[J]. Acta Geographica Sinica, 1984, 39(2): 185–193. [程国栋. 我国高海拔多年冻土地带性规律之探讨[J]. 地理学报, 1984, 39(2): 185–193.]
- [29] Cheng G D, Francesco Dramis. Distribution of mountain permafrost and climate [J]. Permafrost and Periglacial Processes, 1992, 3(2): 83 – 91.
- [30] Ma Ronghua, Yang Guishan, Duan Hongtao, et al. China's lakes at present: Number, area and spatial distribution [J]. Science China: Earth Science, 2011, 41 (3): 394 – 401. [马荣华, 杨桂山, 段洪涛, 姜加虎, 王苏民, 冯学智, 李爱农, 孔繁翔, 薛滨, 吴敬禄, 李世

- 杰. 中国湖泊的数量、面积与空间分布[J]. 中国科学: 地球科学, 2011, 41(3): 394–401.]
- [31] Shi Y F. Concise Chinese Glacier Inventory[M]. Shanghai: Shanghai Popular Science Press, 2005:194. [施雅风 编. 简明中国冰川目录(精)[M]. 上海: 上海科学普及出版社, 2005:194.]
- [32] Wu L Z, Li X. China Glacier Information System [M]. Beijing: Ocean Press of China. 2004:135. [吴立宗, 李新 编. 中国冰川信息系统(配光盘)[M]. 北京: 海洋出版社, 2004: 135.]
- [33] Zhao Lin, Cheng Guodong, Ding Yongjian. Studies on frozen ground of China[J]. Journal of Geographical Sciences, 2004, 14(4): 411–416.