

# 中国冻土研究近今进展

程 国 栋

(中国科学院兰州冰川冻土研究所)

**提要** 近年来,在 南极和青藏高原发现了多种成因的厚层地下冰。冰土的水分迁移、冻胀、成冰机制、强度和蠕变等的研究进一步深化。冻土改造和利用兴起,在寒区砂金矿开采、热桩利用等方面有了良好的开端。

**关键词** 区域冻土学 冻土物理学 冻土改造和利用

近年来的中国冻土研究具有三个特点:即区域冻土研究地域的扩大;冻土物理研究的深入;以及冻土改造和利用研究的兴起。

## 一、区域冻土

中国雪、冰、冻土图(1:40万)已正式出版<sup>[1]</sup>。该图是中国区域冻土研究近三十年来工作的总结。并已初步查明中国多年冻土区面积约  $215 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 占国土面积的 22.3%<sup>[2]</sup>, 仅次于苏联和加拿大居世界第三位。包括季节冻土在内的中国冻土面积约占国土面积的 70%, 对我国的国民经济建设有很大影响。已经实测到的多年冻土的最大厚度在天山为 174m, 见于莫托沙拉煤矿, 在祁连山为 141m, 见于洪水坝盆地, 在青藏高原为 126m, 见于瓦里百里塘盆地。近年来, 在位于黄土高原上的兰州附近的马衔山海拔 3500m 以上的阴坡地带也发现了多年冻土。尤其重要的是已查明的中国高海拔多年冻土面积达  $173 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 占北半球高海拔多年冻土面积的 74.5%, 居世界之最。使我国的高海拔多年冻土研究在国际上享有重要地位。

过去几年内, 多年冻土调查扩展到了青藏高原干燥的西北部和湿润的东南部。调查结果进一步证实在  $40^\circ \text{N}$  以南, 多年冻土下界随降水量增大而降低; 而在  $40^\circ \text{N}$  以北多年冻土下界则随降水增大而升高<sup>[3]</sup>。

由于调查地域的扩大, 也发现了一些新的冻土现象。在黄河源头的鄂陵湖岸, 钻孔揭示了双层多年冻土的存在。位于深度 19.81—24.28m 的第二层多年冻土由纯冰组成。纯冰层上下地层的  $^{14}\text{C}$  年龄分别为  $35030 \pm 900 \text{ B.P.}$  和  $45209 \pm 950 \text{ B.P.}$ 。初步认为该层纯冰为埋藏的湖冰<sup>[4]</sup>。这一结论尚待进一步验证。在中国东北古莲附近月牙湖一半岛上的钻孔揭示了厚 20.70m 的纯地下冰, 该层冰的埋深为 46.15—66.85m, 位于白垩系的碎屑岩中,

来稿日期: 1990年2月。

这种基岩中的厚层地下冰在世界上也属罕见。提出了这种冰的侵入成因<sup>[5]</sup>。在西昆仑山甜水海的陡岸上也发现了厚达 6m 的地下冰露头<sup>[6]</sup>。所有这些发现为研究湖泊与厚层地下冰的关系以及重建第四纪时期的古环境提供了有价值的资料。

近几年来,在中国北方地区发现了大量古冰缘现象的遗迹。中国东部古冰缘研究也得到了相当的发展。目前,对中国东部末次冰期时多年冻土南界的位置尚存在很大的分歧。为解决这一问题必须进一步加强现代冰缘过程的研究,以弄清各类古冰缘遗迹的确切的古气候意义。值得一提的是,在中国东北的伊图里河(50°32'N, 121°29'E)发现了不活动冰楔。这是中国第一次发现冰楔。这些冰楔是地球上到目前为止发现的纬度最南的冰楔。根据<sup>14</sup>C 测定的这些冰楔的年龄约为 3000 B. P., 这些冰楔的发现为中国东北的古环境重建提供了可靠的信息<sup>[7]</sup>。

中国的冻土研究也扩展到了南极。在长城站的观测表明那里的冰缘现象很发育,同样存在着化学风化和离子迁移<sup>[8]</sup>。

全球气候变化与多年冻土演化的关系已越来越多地引起冻土科学工作者的注意。这是因为,一方面在连续多年冻土带的深几百米的温度剖面,包含着过去几个世纪地表温度变化的可靠纪录<sup>[9]</sup>,而且多年冻土的冷生组构及古冻土遗迹可用于古环境的重建<sup>[10]</sup>。这些信息可以提供现代气候变化模式的重要资料。另一方面,客观上也必须预测在全球变化中多年冻土的演变,以及由此造成的寒区水文、生态和工程措施等的变化。关于气候变化与多年冻土演化关系的全面的研究计划正在制订。一些监测项目已在青藏高原上进行,已有的资料表明,15年来,青藏高原冻土南界附近的部分多年冻土已消失,冻土区 20m 处的年平均地温普遍升高了约 0.2—0.3℃。

## 二、冻土物理

近年来的冻土物理,已经从冻土主要性质与影响因素之间关系的研究,转向了预报模式的建立。一些新现象的发现使得这方面的研究更趋深入。

在对饱水正冻土试验研究的基础上,根据达西定律,提出了渗透强度的概念。某一时刻的渗透强度取决于土的含水量和干容重,并随外荷载按指数规律衰减,与试验的温度条件无关。利用室内测得的渗透强度值及现场的冻深和地下水资料可以预报现场冻深稳定前的迁移通量随时间的变化<sup>[11]</sup>。冷却和冻结时土中离子迁移方向的试验研究表明,在正冻土的纯溶液和湿砂中,溶质将向未冻带迁移;反之,在粉砂和粘土中,离子将向土的冻结带迁移<sup>[12]</sup>。融化时冻土中水分迁移和成冰作用的试验发现了正融土冻结部分含水量增加的现象,并观测到了融化缘的存在和冰透镜体的形成,提出了融化时冻土中冰透镜体形成的复冰机制<sup>[13]</sup>。正在尝试在冻土热学的研究中引入系统理论和非平衡态热力学理论,已提出了冻土系统中熵的表达式<sup>[14]</sup>。

冻胀和盐胀的研究是冻土物理的应用方面。盐胀试验结果证明,富含硫酸钠的重盐土面冷却时由于盐分迁移和重结晶,其体积将产生不可逆的膨胀<sup>[15]</sup>。在冻胀方面,根据实验室大量试验的结果,提出了一个冻胀预报的统计公式,该公式中考虑到了影响冻胀的主要因素<sup>[16]</sup>。

在冻土强度和蠕变研究中提出了一种与金属蠕变类似的冻土蠕变热力学模型及冻土蠕变破坏准则的一般形式<sup>[17]</sup>。并在第一台国产低温三轴仪上进行了系统的冻土三轴压缩强度和蠕变试验。正冻土中的应力、应变和水热迁移的预报是冻土物理研究的一个长期目标,不久前提出了一个正冻土中热、水和应力场耦合的模型。利用该模型对一饱水土试验进行了数值模拟,结果是令人满意的<sup>[18]</sup>。

### 三、冻土改造和利用

冻土改造和利用的研究近年来蓬勃兴起。其目标已不仅仅限于工程建设,而且扩大到了寒区的资源开发、环保和节能等领域。

过去几年中,工程冻土学的研究注重解决实际问题的技术和材料。控制寒区各类工程建设因冻胀和融沉而破坏的研究取得了长足的进展。所有这些控制技术都是为着改善“土、水、温、力和盐”五个要素而制订的。

为了改善“土”的条件,广泛采用了用砂砾和砂换填地基土的方法,这一技术已趋于标准化。试验证明,采用强夯法能提高地基土的强度,大大降低其透水性,不但是处理冻胀性地基土的有效措施,而且也是加固软弱地基的好方法<sup>[19]</sup>。在青藏高原多年冻土区铺设沥青路面公路时,为了开拓料源,还深入研究了石灰稳定土类结构作为沥青路面基、垫层的强度、整体稳定性和平整度等问题。

为了改善“水”的条件,普遍注意了采用有效的排水设施以排除供应冰透镜生长的水源。为防治路基侧冰推危害,设计了积冰沟和挡冰堤的复合体系。寒区排水系统中排水出口的保护十分重要,东北地区采用锥体保温式出水口及双排出水口均取得了成功。在解决隧道、路堑积冰问题上,采用了炭热、电热、蒸汽、通风等融冰技术,其中机械通风融冰的研究较为深入。应用土工织物、土工膜等材料作为排水或隔水材料以改善土中水分条件的技术已被证明具有广阔的应用前景。应用聚氯乙烯薄膜将填土与周围土隔离的技术,有效地防止了填土中的水分迁移,取得了成功。

为了改善“力”的条件,在现场试验了多种类型的基础和上部结构。一些类型,如变径桩、扩大式基础桩、柔性基础,和双层油套管等已被证明能消除或减少冻胀危害。在弱冻胀地区,采用钢筋混凝土“U”型槽结构,可有效地防治渠道冻害。利用变形来调整冻胀力的柔性挡墙、锚杆锚定板等新的支挡结构形式也能有效地防治挡土墙的冻害。在水利工程中的抗冻害研究已经积累了大量成功的经验,编写了《水工建筑物抗冻设计规范》<sup>[20]</sup>。

为了改善“盐”的条件,采用多种化学方法进行改变地基土性质的试验。对氯盐在土冻结过程中的作用,防冻胀人工盐化基土的施工工艺、及其使用年限等进行了较系统的试验研究,而且还开展了基土中喷洒、掺拌阳离子表面活性剂的试验研究<sup>[21]</sup>。近年来,用聚乙烯醇处理兰州黄土以提高其强度和抗冻胀性能的试验也取得了令人满意的结果。

为了改善“温”的条件,广泛采用了通风和保温两项技术。在多年冻土区,桩基架空通风基础、平铺式钢筋混凝土梁架空通风基础、通风管冷地基等试验工程均取得了成功,有效地保持了土的冻结状态。通风路堤的工作机制也在原理上得到了验证。保温技术无论在多年冻土区,还是在季节冻土区均得到广泛的应用。在保温隔热材料方面,不仅对炉

碴、泥炭、草皮、粘性土等传统保温材料的性能、作用、适用范围、铺设方法等进行了深入的试验研究,而且对泡沫塑料、膨胀珍珠岩、岩棉、加气混凝土等多种工业保温材料开展了室内外试验。热桩在国内已开始应用,它能有效地降低地温,保持地基土的冻结状态。由于热桩的工作不需要消耗能量,所以应用前景十分宽广,目前已在无动力冷库中得到了推广。

人工冻结凿井技术在两淮煤炭基地应用中取得了成功。近年来,在冻土区砂金矿的开采中,人工融化技术也得到了发展。国内在冻土区砂金矿开采中采用了多种方法,包括太阳能、火、冷水、水针等。融化剥离法是冻土区小型砂金矿最常用的方法,为了减少冻结深度可采用保温材料、塑料薄膜、人造泡沫冰、人造雪等方法。试验表明,聚乙烯薄膜的增温效果也比泡沫塑料板为佳。人造泡沫冰的研制也在实验室内取得了成功。

近年来,中国冻土学研究取得的成绩是令人鼓舞的。目前一个国家开发实验室——冻土工程实验室正在筹建。以冻土研究为主的青藏高原综合科学研究站已经完成了格尔木基地的基建,不久可以开放。这一站一室的建成必将为中国冻土学的进一步发展提供重要的保证。

### 参 考 文 献

- [1] Shi Yafeng et al., Map of snow, ice and frozen ground in China (1:40 million), China Cartographic Publishing House, 1988.
- [2] Zhou Youwu and Guo Dongxin, Some features of permafrost in China, Proc. of 4th Int'l Conf. on Permafrost, Vol.1, 1496—1501, 1983.
- [3] Cheng Guodong, Vertical and Horizontal Zonation, Proc. of 4th Int'l Conf. on Permafrost Vol. 1, 136—141, 1983.
- [4] 王绍令,黄河源头首次发现埋藏湖冰,冰川冻土,1990(待刊)。
- [5] 王保来,古莲煤矿基岩中的地下冰,第四届全国冰川冻土学术会议论文集,1990(待出版)。
- [6] 李树德,贺益贤,西昆仑山多年冻土基本特征,第四届全国冰川冻土学术会议论文集,1990(待出版)。
- [7] 彭海云,程国栋,大兴安岭的冰楔及其古气候意义,第四届全国冰川冻土学术会议论文集,1990(待出版)。
- [8] Xie Youyu, Chemical weathering in Permafrost regions of Antarctica, Proc. of 5th Int'l Conf. on Permafrost, Vol.1, 511—515, 1988.
- [9] Lachenbruch A. H. and Marshall B. V., Changing climate: geothermal evidence from Permafrost in Alaskan Arctic, *Science*, **234**(4777), 689—696, 1986.
- [10] Katasonov E. M., Continuous Persistence of the Permafrost zone during the Quaternary Period, Proc. of 5th Int'l Conf. on Permafrost, Vol.1, 801—804, 1988.
- [11] Xu Xiaozu et al., Water migration in Saturated freezing Soil, Proc. of 5th Int'l Conf. on Permafrost, Vol.1, 516—521, 1988.
- [12] Qiu Guoqing et al., Direction of ion migration during cooling and freezing processes, Proc. of 5th Int'l Conf. on Permafrost, Vol.1, 442—447, 1988.
- [13] Cheng Guodong and Chamberlain E. J., Observations of moisture migration in freezing soils during thawing, Proc. of 5th Int'l Conf. on Permafrost, Vol.1, 308—312, 1988.
- [14] 丁德文,冻土系统的熵及其定量计算,第三届全国冻土学术会议论文集,59—64,1989。
- [15] Chen Xiaobai et al., On salt heave of saline soil, Proc. of 5th Int'l Symposium on Ground Freezing, 35—39, 1988.
- [16] Chen Xiaobai and Wang Yaqing, Frost heave prediction for clayey soils, *Cold Regions Science and Technology*, **15**, 233—238, 1988.
- [17] Zhu Yuanlian and Carbee D. L., Creep behavior of frozen silt under constant uniaxial stress, Proc. of 4th Int'l Conf. on Permafrost, Vol. 1, 1507—1512, 1983.
- [18] Shen Mu and Ladani B., Modelling of coupled heat, moisture and Stress field in freezing soil, *Cold Regions Sciences and Technology* **14**, 237—246, 1987.
- [19] 袁忠淮,我国东北寒区建筑中的冻土研究回顾,冰川冻土, **10**(3), 338—341, 1988。

- [20] 徐绍新,对水利工程冻土研究的某些回顾,冰川冻土,10(3),342—343,1988。  
[21] 黄小铭,我国寒区道路工程中冻土问题研究的回顾,冰川冻土,10(3),344—351,1988。

## RECENT DEVELOPMENT OF GEOCRYOLOGICAL STUDY IN CHINA

Cheng Guodong

(Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou)

**Key words** Regional Geocryology, Physics of Frozen Soils, Amelioration and Utilization of Frozen Soils.

### Abstract

Recently, the investigative territory in Regional Geocryology have been further expanded to Antarctica, the arid northwest and the humid southeast parts of the Qinghai-Xizang Plateau. Some kinds of massive ice with different origins have been found. In physics of Frozen Soils, studies on water migration, frost heave, mechanism of ice formation, strength and creep have been developed in depth. In the last few years, the studies on amelioration and utilization of frozen soils are on the upgrade. There is a good beginning in the studies on placer gold mining and utilization of thermal pile in cold regions.

## 中国地理学会海洋地理专业委员会 第二次会议在南京召开

中国地理学会海洋地理专业委员会于1989年12月18—20日在南京举行第二次全体委员会议。出席的委员25人,来自我国沿海省市十六个海洋研究单位和高等院校。刚从香港讲学回来的学部委员、专业委员会学术顾问任美镔教授,不顾辛劳,特地莅临指导。

会上,专业委员会主任王颖教授作了关于海洋地理专业委员会成立一年以来所作工作的汇报及本次会议的建议;各委员交流了近年来在海洋地理方面所做的工作和取得的研究成果。据大家发言,归纳起来有:潮滩及港湾沉积作用研究;海岛、海岸带及大陆架浅海综合调查和研究;电厂选址;海岸与河口环境质量评价;港口可行性研究与海岸带港口规划;浅海养殖、滩涂开发的研究;海洋灾害和石油开发环境地质问题的研究;人类开发海岛后环境生态变化的定点观察、评价及预测;沿海开放城市研究;沿海经济开发及城市发展战略;沿海城市总体规划、城镇体系研究;海岸环境保护;南海诸岛主权问题的研究;编制我国海区及西北太平洋地质、沉积、气候等图集;筹办海洋研究方面的国际学术会议等,这些工作,反映出我国目前的海洋地理研究工作涉及到自然科学与社会科学两个方面,既包含着基础理论研究,又具有与国民经济建设相结合的应用研究,但以应用性的理论研究项目为主。会议重点讨论了专业委员会的工作,委员们一致同意王颖主任委员提议,决定以编写《中国海洋地理》作为专业委员会今后两年的主要学术活动。专业委员们对本书编写提纲、分工作了详细讨论和安排。同时,成立了编辑委员会,王颖教授担任主编,任美镔教授、吴传钧教授、陈吉余教授任学术顾问。专业委员会学术顾问任美镔教授在会上还就国外海洋地理工作特点及如何编写《中国海洋地理》作了讲话。杨作升副主任委员介绍了国际海洋地理专业委员会有关情况。

(尤坤元)