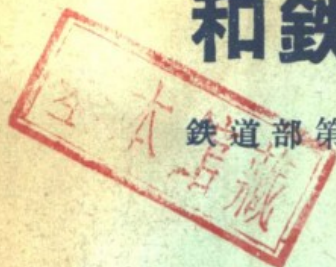


196691

多年冻土的工程地質 和鐵路建筑

鐵道部第三設計院編著



人民鐵道出版社



統一書号: 15043.581

定 价: 0.85 元

54

83081 卷
人

多年冻土的工程地質 和鐵路建筑

鐵道部第三設計院編著

人 民 鐵 道 出 版 社

一九五八年・北京

我国在多年冻土区建筑铁路和其他基本建设工程，还是在解放后最近几年来才开始的。因为对多年冻土的地质特性缺乏了解，所以在工程的设计和施工中都会遇到不少困难。

只是在苏联专家的无私帮助和我国技术人员虚心勤奋的学习下，才使苏联冻土试验和施工的整套知识开始传播；经过几年来铁路勘测和施工人员不怕酷暑严寒，在新线建设的实际工作中，积累了很多宝贵经验，这不仅与铁路建设有密切关系，而且也对其他基本建设工程有着重大的意义。

本书分“工程地质”和“铁路建筑”两编，内容包括（一）多年冻土的分布和特性；（二）线路、给水和桥梁房屋基础工程的经验及教训；（三）苏联先进经验和资料的介绍。对在多年冻土区实际处理工程的设计和施工有很大价值，可供工程技术人员和地质勘测人员参考。

本书由潘君牧同志主编。

多年冻土的工程地质和铁路建筑

铁道部第三设计院编著

人民铁道出版社出版

（北京市霞公府17号）

北京市书刊出版业营业许可证出字第010号

新华书店发行

人民铁道出版社印刷厂印

（北京市建国门外七圣庙）

书号1015 开本 $850 \times 116 \frac{1}{2}$ 印张5号 插页8 字数134千

1958年8月第1版

1958年8月第1版第1次印刷

印数0001—1,400册 定价（9）0.85元

目 录

序 言

上編 多年冻土的工程地質	3
第一节 多年冻土的产生和分佈	3
1 分佈状况	4
2 生成原因	9
第二节 兴安嶺多年冻土的特征	11
1 兴安岭的自然条件	11
2 三个观测区的情形	13
3 自然条件和多年冻土的关系	19
4 兴安岭多年冻土的范围	24
第三节 多年冻土以上的融冻层深度	27
1 兴安岭多年冻土融冻层深度记录	27
2 树木 泥炭、苔草、沼泽、雪、气温的作用	28
3 根河测温站的資料	43
第四节 冻土的水热变化	51
1 负温度和土壤中水的关系	51
2 温度湿度复盖层和水热变化	53
第五节 冻脹和沉陷	59
1 土的冻脹量	60
2 冻土的冻脹力摩擦力和多年冻土的冻着力	62
3 冻脹裂縫計算	65
4 冻土融化沉陷量	66
5 沉陷和含水量的关系	68
第六节 冻土的热力計算	71
1 計算公式和例題	71
2 热力計算参考数字	77
第七节 埋藏冰層	79
1 土壤顆粒和冰层的关系	82
2 含水量变化和冰层的关系	84
第八节 水在多年冻土中的作用	88
第九节 多年冻土区工程地質勘察	100

下編 多年冻土区铁路建筑	115
第一节 铁路选线	116
1 基本要求.....	116
2 台地选择.....	121
第二节 断面設計	124
1 縱断面的要求.....	124
2 縱横断面的配合.....	127
3 河滩路基的横断面.....	130
第三节 路基	131
1 路堤.....	131
2 路塹.....	138
3 路基加固与防护.....	141
4 路基排水.....	143
第四节 对路基工程的体会	147
1 採用的設計原則.....	147
2 零断面与低填浅挖.....	148
3 防护措施.....	150
4 公路路基.....	151
第五节 埋藏冰層上筑路	152
第六节 新綫建筑中的教訓	156
第七节 冰丘	159
1 处理方法介紹.....	159
2 大兴安岭实例.....	162
第八节 房屋基础	166
第九节 桥涵基础	175
1 已使用的方法.....	175
2 待改进的問題.....	179
第十节 給水工程	181
1 水源.....	181
2 管路.....	183
第十一节 兴安岭多年冻土的工程特征	184

序 言

开发兴安岭多年冻土区域，建立規模宏大的森林工业，成为我国木材的主要产地，是五年計劃中光輝燦爛的一頁。枝叶蔽天連綿不断的原始森林，傳出了电鋸和拖拉机的轰鸣，終年冰封万里雪壓的原野，印滿了勘测人員的脚印；狼虎熊鹿窜进深山老林，火車头越过沼澤丘陵，为兴安岭的新居民，带来动力和光明。千万年来頑强不化的多年冻土，抗拒不了党領導下的人民，多年冻土图上迅速地添着新的地名，这是智慧和劳动的象征，偉大建設的例証。

六年来铁路工人战斗在兴安岭上，零下四十多度的严寒，毒虫乱飞的盛暑，漫山遍野的洪水，随时出沒的猛兽，阻碍交通的沼澤，都沒能擋住英勇的人們把軌道伸进密林，靠近原木山积的楞場。勘测尖兵越过了石井測量队的終点牌，踏过了阿里河机場的廢墟，进入多年冻土的边緣，洗清了历史的恥辱，成为森林的主人。鄂倫春的猎人，兴安岭的伐木者，他們向自然斗争和开创事业的精神，鼓舞人們向冻得更厚的地区，繼續前进。苏联专家国际主义的精神，也教育了多年冻土区修路职工，他們不仅介紹了多年冻土的基础知識，还亲自进入原始森林帮助勘测設計，先进的冻土学揭穿了多年冻土的神秘，使铁路平安地通过了充滿傳奇的原始森林区。

党向科学进軍的号召提出后，苏联冻土試驗和施工的整套知識，开始傳播；同时在新線建設工程中，也积累了經驗。为了取得适合处理兴安岭多年冻土的具体措施，要求摸清当地多年冻土的情况和性質，积累影响多年冻土的气象水文等自然条件的資料，这样才能用苏联的先进理論，来处理实际問題。历年的勘探資料开始整理，气象站逐漸設立，並建立起土壤測溫工作。施工

中的經驗亦初步總結，有关冻土的知識，正逐漸积累起来。兴安峯冻土研究的任务，應該是查明多年冻土衰退消灭的規律，为規模日益扩大的建設作准备。

为了記錄下历年来多年冻土区勘测設計施工中獲得的一些知識，編写本文。内容包括（一）多年冻土的分佈和性質；（二）線路、給水和桥涵房屋基础工程的經驗教訓；因为目前还没有一本多年冻土方面的中文書籍，因此补列了（三）苏联先进經驗和資料的介紹。学淺識寡，錯誤必多，希望一起在多年冻土区工作的同志，帮助指正，則不負拋砧引玉的初衷了。冰河上日日夜夜的鑽探，零下温度試坑中一刨一小块的挖掘，多少这样頑强的劳动，才留下說明多年冻土性質的統計数字。兴安峯筑路經驗的創造者，是征服多年冻土的工人們。只有在偉大的建設中，知識才有可能丰富起来，几年的摸索，基本上解决了多年冻土区鉄路建筑問題，在最寒冷地区，可以做到抵制路基和桥梁房屋的基础冻害；在技术上比較复杂的埋藏冰层上筑路及冻层下深井取水，也有了初步的收获。相信坚持学习苏联冻土知識，深入研究兴安峯冻土，将为今后更复杂更宏偉的建設，提供必需的資料。

中苏共同調查綜合利用黑龙江流域資源的決定，将彻底改变兴安峯多年冻土区的面貌，带来无限美好的远景；青藏高原的鉄路勘测人員，又进入了我国第二个多年冻土区，这样轰轰烈烈的豪迈事业，怎不令人欢欣鼓舞呢。如果兴安峯多年冻土資料的收集整理，能对黑龙江流域和青藏高原的工作同志也有一些用处，那将是最愉快的事。

进入兴安峯无人地区的赶車人有謙让領先的習慣，修路的既先走过沒有足跡的道路，就有义务指明那些复轍和險阻的地方，使担負更艰鉅任务的开发者，在兴安峯的征途上，平安前进。

最后向在編写中給与指导和帮助的同志們，表示衷心的感謝，並祝战斗在兴安峯多年冻土区的同志們，在第二个五年計劃中获得更輝煌的成就。

上編 多年冻土的工程地質

第一节 多年冻土的产生和分佈

在地球上有很广闊的一部分面积上，分佈着一种冻结的土壤，在地面下某个深度的土壤於相当长的一段时间内（从二年至数万年以上）温度保持零度以下，这种土壤称为多年冻土，許多書籍上，也常使用永久冻土这一名詞。

人类活动范围逐渐扩大到寒冷的空間，接触了多年冻土，並在无人的原野上，从事农业和工业建設，对多年冻土的特性，开始有了認識；廿世紀以来多年冻土区域内工程的規模，日益扩大，對於多年冻土的研究，漸趋深入，形成一門新的学科——冻土学。冻土学成长的过程，也是人类征服多年冻土区的过程。

远在十六世紀，文献中已有多年冻土的記載；十七世紀，俄国亚庫梯州长报告西伯利亚地区有多年冻土，並作出不能从事农业活动的結論；十八世紀，彼得一世命令科学家研究西伯利亚的多年冻土；十九世紀后期，建筑西伯利亚铁路，有力地推动了多年冻土的研究工作。

第二次世界大战以后，多年冻土的研究又提高一步，美国为军事目的在阿拉斯加建筑机场道路，进行工程地質勘察和研究冻土；与此相反，苏联的大規模和平建設，也推进到了高緯度地区，多年冻结区内将兴修宏大的水庫发电站和鋼鉄联合企业。赫魯曉夫在苏共第二十次代表大会上指出『必須拟定在西伯利亚发展和配置鋼鉄企业的总的规划，並且在这一地区进行大規模的地質勘探，科学研究和其他工作。』这是令人鼓舞的事，意味着新的技术和科学成就，将在偉大的建設中产生，对我国黑龙江和兴安岑区域的开发，也会提供最宝贵的帮助。

我国对多年冻土的注意，是随着开发兴安岭开始的，解放后，为了发掘兴安岭的林业资源，铁路部门首先修筑深入大小兴安岭原始森林的路基、桥梁和房屋，因而获得了在多年冻土区建设的一些实际知识。

苏联中国共同调查综合利用黑龙江流域资源的决定，为开发多年冻土区域揭示了美好的远景，黑龙江流域强大的电力资源充份利用以后，无疑地会使辽阔富庶的边疆区域，发生根本的变化 廉价的电力，帮助建立起有稳定丰收的电气化农业 黑龙江流域还有各种有色金属，黑色金属、煤炭、化学原料，和强大的电力资源相配合，黑龙江沿岸将成为有采矿、冶金、化学、建筑等工业的区域，而不复是人烟稀少，熊鹿出没的原始森林，庞大的建筑群将修建起来，其中并有散发高热的厂房，多年冻土区建筑的技术问题日趋复杂，工程要求渐见提高，冻土的理论研究和施工经验的积累，已成为迫切的要求，特别是自然条件和物理力学性质变化方面的资料，需要较长时间加以收集，因此为了迎接多年冻土区的建设高潮，有必要提前开展我国多年冻土的资料整理和研究工作，动员研究机关和基本建设部门力量，解决开发中遭遇的各项问题。

1 分佈状况

多年冻土分佈范围极广，自从在寒冷的南北高纬度区进行开发和科学研究后，发现多年冻土事实上是广泛存在着，苏姆金在一九二七年估计多年冻土佔陆地面积的20~25%，並编制过苏联多年冻土分佈图（图2）勃拉克在一九五四年又编制了北半球的多年冻土分佈图（图1）並估计现代的多年冻土分佈如表1（单位百万平方公里）。

北半球陆地面积99.33百万平方公里中，多年冻土约佔22%，南极多年冻土面积 12.98 百万平方公里，佔南半球陆地面积47.9百万平方公里的27%，所以在地球上陆地面积147.23百万平方公里中，多年冻土约佔24%。苏联多年冻土面积达10百万平方公里

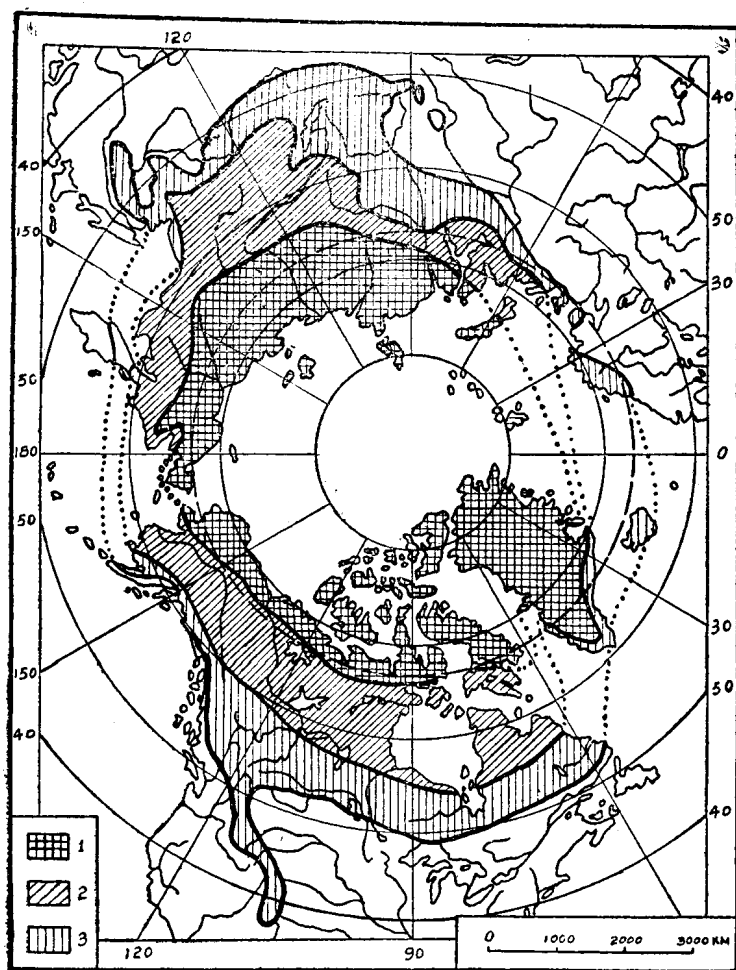
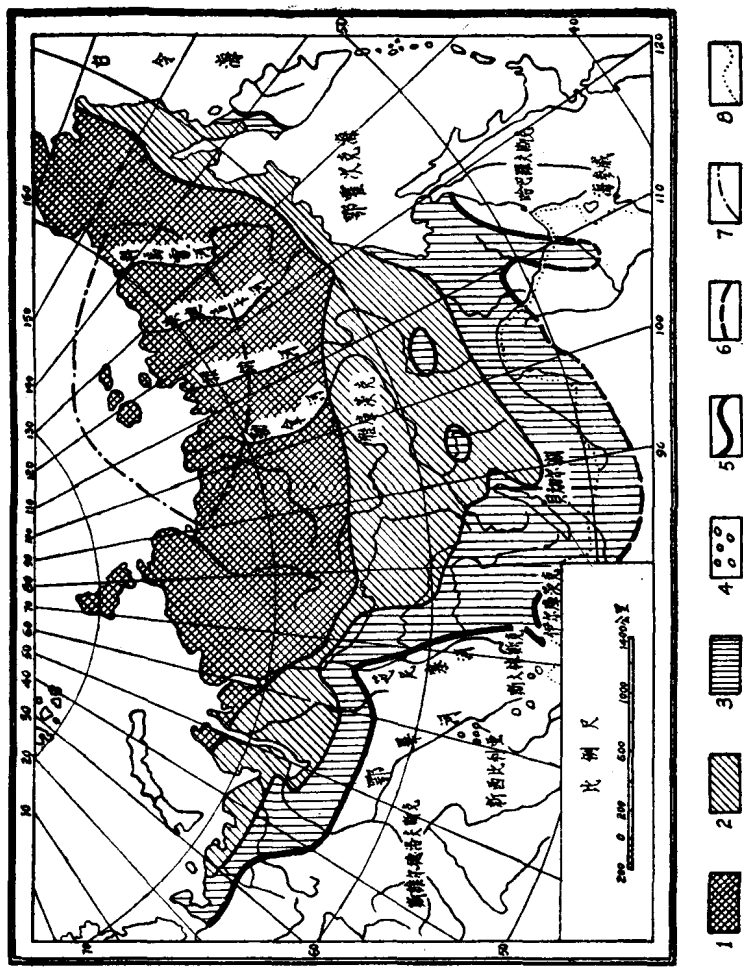


圖 (1)



1. 多年凍土層連續發育區。
2. 具有少數融土的多年凍土帶。
3. 融土佔絕大部份的多年凍土帶。
4. 個別的多多年凍土島。
5. 蘇聯境內的多多年凍土帶南部界綫。
6. 蘇聯境外的凍土帶的南部推測界綫。
7. 多年凍土帶中含有大量水層的區域的界綫。
8. 蘇聯國界。

圖(2) 蘇聯多年(永久)凍土分佈圖

表 1

地 区	欧 亞 陆	北 美	北半球 (总計)	南 極	总 計
正体的多年冻结	3.66	3.89	7.55	12.98	20.53
多年冻结中有島狀的不冻土	3.66	3.66	7.32	—	7.38
島狀的多年冻结	3.76	3.46	7.22	—	7.22
	11.08	11.01	22.09	12.98	35.07

里，佔全部陆地面积47%。我国多年冻土面积，据辛奎德、任奇甲两位同志的估计为0.46~0.5百万平方公里。

我国的多年冻土，从世界分佈范围来说，是欧亚大陆南緣，东西北三面与苏联和蒙古人民共和国相連，苏姆金在其冻土分佈图中，推断我国多年冻土的南緣是在东經100°~120°間的一块凸形地，最南端东經105°~110°北緯47°。勃拉克图上也是这样的，但均与实际情形略有出入，我国另一存在多年冻土的区域是青藏高原。

多年冻土冻结的厚度，由北向南逐渐減薄尖灭（图3），西

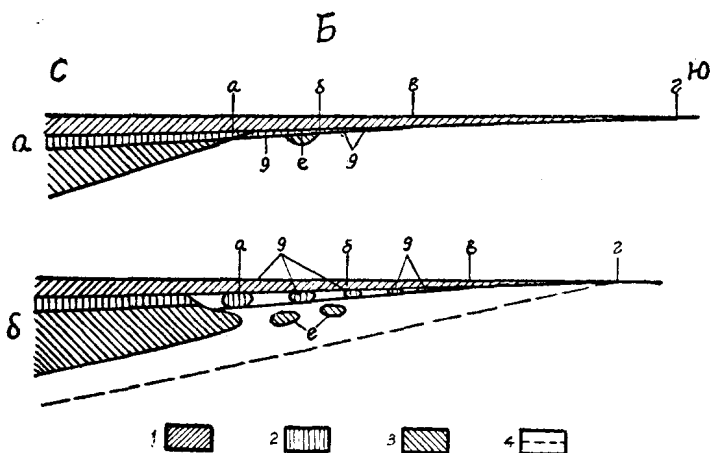


圖 (3) 多年冻土帶向南部边区尖灭示意图

1. 融冻層 2. 过渡層 3. 多年冻層 4. 冻土帶最發達时的下部界限
 a. 冻土帶的尖灭 b. 冻土島的南部界限 c. 变动冻土層的南部界限
 d. 融冻層 (作用層) 的南部界限 e. 变动冻土島 f. 冻土島

伯利亚最北部达 200 公尺到我国境内冻结层厚度薄者成透镜状，接近尖灭；已遇到较厚者如在根河中钻孔透过的多年冻层深度为 28 公尺，电探点在伊图里河车站山坡上所测定的冻土深度为 40 至 60 公尺。

多年冻土平面上的分佈，可区别成以下三种：（一）正体的多年冻结（二）多年冻结中有岛状的不冻土（三）岛状的多年冻结，苏姆金的图，就是按此划分的。事实上只说明多年冻土由北向南渐趋消失的趋势，而很难具体划清（二）、（三）两者的界限，对于冻土岛的面积，这样分类也缺乏具体的规定。从大小兴安岭勘测中获得的数字来分析，同属于第（三）类，变化却还是很大的。

多年冻土在垂直方向又可划分为两种：（一）衔接的多年冻土（二）不衔接的多年冻土。多年冻土以上有一层土，冬季冻结，夏季融化，名为季节冻层或融冻层；如这一层土在冬季，一直冻结到多年冻土的上限者，称为衔接的；另一种情形，季节冻结深度，不能达到多年冻土的上限，中间留着一段融冻层，称为不衔接的。图 4 表示这两种多年冻层的形态。兴安岭地区能够看到这两种不同的形态，前者主要存在于沼泽中，后者常见于河边。

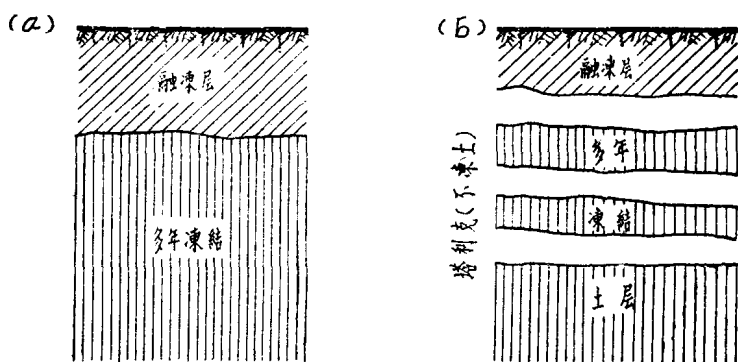


圖 (4) 多年冻層的典型圖形

我国多年冻土的研究，实用意义上是解决广大无人地区的开发問題，而在世界范疇的冻土研究中，也自有其重要的一面，欧亚大陆多年冻土南部边界延伸到 50° 線以南的，范圍很小，因而我国 50° 線附近，有着极良好的条件，来探討多年冻土消失的具体情况，森林的大举开发，新工业城市的建立，正在这里进行，但对于多年冻土退化的資料，即人类活动所造成的影响，目前尚无专门的机构負責观测，不論从学术上，或在今后大规模的建設中，这些資料都是极有用的，应该逐步建立起观测研究机构。

2 生成原因

多年冻土区建筑方面，需要了解冻层现在是进展或是退化的，这样就不能不把現代气候条件与古代气候条件作一对比，从而提出了多年冻结的成因問題，对于工业来说，这关系到是否采取保护冻结的原则；农业方面多年冻结上限的沉降，对垦殖关系也大有影响。

冻土生成首先决定于温度，每年放散热比吸收热多的土壤，不但渐渐冷却到负温度，而且連以下的土层也降到负温度 某一点的土壤冬季冻结二公尺，夏季融化1.9公尺，这样一公寸厚的冻土层，一直留到下一个冬季；如果次年冬季的气候和上年一样，沒有一公寸残余冻结土壤的地方冻结深度是二公尺，有去年冻结残余的土壤，冻结要比二公尺深 如果夏季仍融化1.9公尺，下一个冬季有一公寸以上的冻结土壤存在，如此反复数年，多年冻结土壤逐渐加厚，直达地下深处，到地温使冻结不能再往下为止。

研究多年冻结生成原因的，有两个学派。一派主張多年冻结是现代气候的产物，另一派主張是第三紀第四紀冰川的残余。

苏联学者在西伯利亚多年冻层中，发现沒有变质的毛象，毛獅和犀牛的尸体，並在土壤中找到堆积冰层，他們认为这些兽类生活的年代，应处在由冰河期轉向間冰期，动物死亡时，那里土壤已經是冻结的。他們发现动物尸体时，土壤还保持着冻结状

态，而自动物死亡時間迄今，那里的土壤是連續不变的冻结体，因此认为西伯利亚广大区域内堆积的多年冻层，决不是现代气候所构成的。

北冰洋沿岸发现二个冰河期埋藏冰层間夹着間冰期的厚粘土，許多毛象的骨骼散存其中，此种多年冻结是冰河时代殘存的例証，所堪注意者是多年冻层中堆积的冰层，並非全属冰河时期产物，如湖冰，地下埋藏冰，有的是现代作用所产生。

多年冻层属于前期冰河时代产物，且經数万年連續存在，但是冰川界限与现代多年冻土分佈界限並不符合，因此不能看做是一种直接关系。多年冻土现代分佈中心，有大量的埋藏冰，証明多年冻土与大陆冰川有关。苏姆金认为自更新世末开始，寒流不断重复，因而产生缺热现象，大概正由于这种原因，使多年冻土分佈超出现代分佈范围以外，在時間上，这些可以与第四紀前半期週期性的冰川作用联系起来；现代气候合适的地区，冰川殘余以埋藏冰形态保留下来，土壤或岩层保持冻结状态；而另有些气候不合适的地区，不論冰和冻土，均告缺失。

任奇甲同志对大小兴安岭多年冻土的成因，认为是古代的成因，並处在退化状态中，理由如下：

(一) 已在五个地区查明多年冻土层是由冰水堆积物构成。

(二) 多年冻土分佈区在冰川期古脊椎动物羣分佈区以內，而冰川期动物羣的分佈区又与阿尔卑斯运动上升区及灰型土壤分佈一致，显然由于地壳上升及当时气候影响，发生冰川，生成冻土。

(三) 已在五个地区的多年冻土层內发现相当於 Q_3 （更新世晚期）或以前时期的动物化石——毛象。

(四) 多年冻土平面上成島状，剖面有时成多层状，表明古代遺留。

(五) 气象站测温表明地表下五公尺以上的土壤，温度每年有时零上有时零下，冻土热动态观测得出退化型曲線。

(六) 德都地区观测，多年冻土在七八月份有变軟现象，成

半融化状态、四道沟探金探井两侧的冻土层五年內融化了十公尺。

铁路勘测中获得的大量資料，証实了兴安岭冻土島逐漸被分割成点状而最后消失的情况。从埋藏冰层和多层状多年冻土的存在，以及冰碛物的分佈，可以同意多年冻土是古代的，同时在退化着。

結 論

(一) 多年冻土在高緯度地区分佈极广，佔世界陆地面积 20~25%，因而对人类征服寒冷地区，有重要影响。

(二) 多年冻土厚度，由北向南，逐渐减薄，从整体冻结，过渡到島状冻结，在北緯 50° 左右尖灭，我国境内最南可能到达 47° 。

(三) 冻土生成主要原因是負温度，每年融化不完的冻层，积累起来，达到地面下某一深度，受土壤温度影响，不再往下冻结。

(四) 苏联西伯利亚发掘出未变质的毛象和堆积冰层，証明多年冻土是第三第四紀冰川造成的，而不是近代气候的产物。兴安岭多年冻土是欧亚大陆多年冻土的一部分，从已有的資料判断，多年冻土是古代成因，並在退化中。

第二节 兴安岭多年冻土的特征

1 兴安岭的自然条件:

大小兴安岭的多年冻土，分佈於第四紀地层中。

(一) 全新世 沙粘土、砂、砾及卵石，厚 4~15 公尺，分佈於冲积台地及河谷。

(二) 更新世 上部：砂粘土夹次棱角卵石，厚三公尺左右。下部：砂砾层，大小形状材料圓度到处不同，夹分量不等的土，夹有冰川砾石，厚 20~40 公尺，分佈於山前凹地，河谷上