

第一章 地球冷生岩土带科学 研究方法的原理

§ 1.1 冻结岩土是区域冻土学和历史冻土学的对象

多年冻土、冻土地质过程和生成物的形成以及发展和分布规律是区域和历史冻土学的理论基础。研究多年冻土的区域和历史方面是根据具体自然环境的研究。它表征着景观 - 气候、构造地质、地貌、水文地质和它在综合冻土条件中发育的统一。

区域冻土学的任务是了解形成多年冻土的年平均地温,平面的分布以及它与融土的相互作用;岩土的多冻,它们随时间和沿深度的发展,冻结层冷生组构和含冰量的形成,以及冷生地质现象发展的分带性和区域性规律。

与温度年波动深度等量的多年冻土层上部 10 ~ 20 m 的温度状况及冻土地质(冷生地质)过程和生成物组合体对地表换热条件短周期变化的迅速反响可以作为季节冻土和多年冻土在具体自然条件当时所存在的稳定性(可变性)标志。据此冻结岩土按地表和冻结层中的换热条件,按照岩土成分、含冰量和冷生组构,对它们的冷生年代和成因加以分类并对所研究的冷生岩土带地段进行区划和编图。

历史冻土学揭示地球的地质发展和其地表与内部的进化改造过程中的宇宙原因,确定发育地球冷生岩土带的规律和周期以及它现代的存在规律。

冻土不是偶然的,而是有规律的自然历史产物。它具有无论在现代或古代只赋予在行星上发生(成因)、存在、发展和分布规律所严格决定的特征。它在包括第四纪时期的晚新生代尤其广为发展。

在科学发展一定阶段的区域,冻土研究和其成果的汇总是更加深入研究冷生岩土带的基础。所以进行这些研究的方法最好既能获得实际资料,又能确定多年冻土在一定景观 - 气候和地质构造环境中存在和发展的规律性。

目前地球上多年冻土分布区的总面积(包括格陵兰和南极)约占地球表面的 40% 和欧亚陆地的 75%。总的说来是极其特殊产物的岩土多年冻结层在成分、冷生组构、成因、年代、温度状态、厚度、含冰量和其他特性方面是相当不同的。它无论在一般地质意义上还是在理解冷生岩土带和冰川时期在地球历史中的意义和作用上都是重要的。

冻土本身应理解为自然历史的地质产物。它的特点是有负温和含有未冻水(薄膜-结合水)及冰。冰能胶结矿物颗粒或填充土中空穴、孔隙和裂隙。属于此类土的有分散性土(块石的、砂的、黏性土的、泥炭的)和开裂的或风化的岩浆岩、变质岩和胶结的沉积岩。此时冰和雪的堆积无论是地面上的(河的、湖的、海洋的、冰川的等)还是地下的(层状的、重复冰脉的、分凝的)均看作单矿物土,而冰是一种特殊的矿物。具有负温但不含冰的岩土(整体岩石的、分散性盐渍的等)称之为寒土或冷土。

在诸多冻土和寒土中分散性土是最复杂的研究对象,因为它是多组分的毛细-孔隙系统,而且不少是胶质土系统。已冻结的分散性土不同于非冻结土之处是矿物颗粒被冰胶结和由此产生由冰包裹体的形状和尺寸及周围土的成分和性质所决定的冷生构造。冷生构造形成于土冻结时,当土中水相变成冰并伴有复杂的物理-化学过程,如薄膜水从土的融化部分向正冻结部分转移(迁移)、凝结、团聚,冻结面以下土颗粒脱水收缩、分散、破碎和膨胀-土的冻结部分土颗粒的冻胀。冻胀是由于迁移水分冻结和土的体积增大9%之故。

具有水分迁移的分散性土的冻结会使土分离成整体冻结部分,可目测呈粒状、巢状、透镜体、夹层、网格的冰包裹体和各种成因的单矿物冰的大包裹体。冰包裹体的类型和其体积取决于土的成分和它的冻结条件。如整体状冷生构造,冰粒和冰巢形成于粗分散性土冻结时。层状冷生构造形成于黏性土冻结时,起初沿应力带产生的冰条形成微细冰层,后来汇合成可见的冰夹层-条纹状冷生构造的组分。

土的条纹状冷生构造可分为层状(冰夹层相互平行)、块状、网状和蜂窝状(平行的冰夹层与垂直的相交叉)。广泛分布的是过渡型的、未完全发育的和混合型的冷生构造,如整体的、壳状的、斑状的、透镜状的、层状-网状的、基底状的或角砾斑杂状的。坚硬岩石的冷生构造是继承性的,并具有岩石裂隙性类型的特点。一般分为裂隙的、裂隙-脉状的、层状-裂隙的、岩溶-裂隙的等冷生构造。

冻土区内比化学风化占优势的物理风化过程(冷残积作用)导致广泛分布着被冰胶结的弱分选的各种碎屑土。由松散堆积物(小于1 mm 颗粒)粒度谱中细分散部分的分析可知,冷生岩土带的不同之处是它的高粉土性(在60%以上)。这完全与土的冷生风化作用有关:伴有砂粒沿微裂隙破碎和黏粒团聚的多次冻结-融化。正是由此作用解释冻土区内广泛发育着以粉土粒级(0.01~0.05 mm)颗粒为主的黄土状堆积物。在强烈显示物理风化作用和强化冻土型边坡过程的同时,在冷生岩土带的沉积生成物中,土的岩性-成因类型以残积、坡积、融冻泥流、冲积和湖积种类占优势。

通常,细分散土中冰的含量比它冻结前的含水量大许多,并且在有条纹状冷生构造、粉土颗粒和有机物质时增大。冻土矿物骨架的孔隙度随含冰量可在60%以上,而富冰土中的骨架密度小于 1 g/cm^3 。土中的冰和未冻水含量的关系在很大程度上决定

着它的物理、物理-化学和力学性质。如在相同条件下增大含冰量会增强冻土的导热性、电学和强度性质,并且增大它的胀裂性和融化时的冲刷性。

冷生岩土带内广泛分布着地下冰,它们在冻土中以单矿物冰形式存在。年平均温度低于 -3°C 时,在分散性土中沿寒冻裂缝形成的多边形冰脉分布最广。一般它的外形在平面上呈深为 $3\sim 5\text{ m}$ 相互垂直的裂缝系统,随着土的温度状况、变浅水体和水流的形状、充水沼泽、地表微地形等把土体切割成不同尺寸和形状的多边形体。进入裂缝中的融水冻结时形成单元冰脉,胶结裂缝并使土层重新成为一个致密土体。循环重复寒冻开裂和裂缝冰胶结的过程导致形成楔形冰脉系统。这些冰脉上部的宽度随其形成条件和存在时间可变化于较大范围,从几厘米到 $8\sim 10\text{ m}$,长度从 1 m 到几十米,而垂直深度从几米到 10 m 甚至超过 40 m 以上。不同时代的冰脉(显然还有距地表的埋置深度和尺寸)已揭露于北方冻土带更新世平原的河流和湖泊的边岸露头处。冰脉和其土质假象的多边形系统,它的形状、尺寸、保存性和距地表埋置深度可以成为确定堆积物冻结的地质年代、冻结过程发展条件和土层随后动态等的可靠标志。

厚度从 $1\sim 20\text{ m}$ 和延伸从几十米到 300 m 以上的地下冰层矿体主要分布在深度为 $3\sim 35\text{ m}$ 处。层状冰的成因常常不是单一的。一些学者列举出层状冰矿体无可争议的分凝成因标志,而另一些人却列举出侵入的或埋藏的地下冰标志。

冻土层中的侵入冰,除了层状和透镜状矿体以外,还会形成冻胀丘、冻胀带和冻胀场地。侵入冰生成物最明显的表现形状是多年生巨大的(高达几十米)冻胀丘,其核心是透镜状冰体。冷生岩土带内还广泛发育着具有混合成因(迁移-侵入的)或迁移成因冰核心的大、小冻胀丘。

松散堆积物的含冰量与土层的冻结方法(后生的或共生的)有密切关系。属于后生的冻土是它在转入多年冻结状态之前已完成了沉积物的堆积和转变成岩土的过程。这类生成物有沉积岩和岩石(岩浆岩、变质岩和胶结沉积岩)。土层在气候总的或区域转冷自上向下单向冻结时具有后冷生的特征。此时冻土层由于冻土下界向下延伸而逐渐增大自己的厚度。

共生土层通常形成于现有冻土体上,几乎同时(地质意义上的同时)发生沉积物堆积和它转入冻结状态。它的下垫层始终是后生的已冻结土,并因聚积在冻结基底上和立即冻结的沉积物上而转入多年冻结状态使冻土层的上限抬升,因而逐渐增大其厚度。双冷生土层具有次要意义,它形成于过湿的非石化土、新堆积的沉积物或淤泥(例如在变浅的水域底)的冻结(自上向下和从侧面)时。冷生岩土带中分布最广泛的是多冷生冻土层,它是在垂直剖面中由后生、共生和双冷生土层各种组合形成的。

冷生岩土带的几乎所有山地是坚硬岩石(岩浆岩、变质岩和胶结沉积岩)后冷生层的主要发育地区。其冻土层的厚度可变化在几米到 1000 m 以上。作为冷生型现代风

化壳的近地表部分的特征是大量被冰胶结的粗碎屑物,沿剖面向下先是含有冰的亚砂土-亚黏土充填物的块石,随后是基岩的初始破坏带(可分开的岩石),其裂隙和空穴中充填着纯冰。

大厚度后生已冻结坚硬岩层的含冰量和冷生组构取决于它们的原始(冻结前的)裂隙度、孔隙度和空穴被随后相变成冰的水的充填程度。一般坚硬岩石的含冰量小,而且不少是不含冰包裹体的寒土型。这里极少有整体冰的堆积,这可能是裂隙冰和充填大空穴的冰(经常是岩溶的)。

由冻结松散沉积土组成的后冷生层主要发育于广泛的海退区域。所以后生冻结首先是具有以细分散性成分为主的海洋、冰海、泻湖、湖泊及其他成因的厚层土。在沉积岩的后冷生层中还有漂石-碎石-细土成分的冰川堆积,斜坡堆积物系列的新成冻土,以及河床相的冲积砂、小卵石、部分风堆积物、泥炭沼泽、古风化壳等。这些冻土层的厚度可以从几十米到几百米。通常后冷生沉积土岩性均质层上部具有最大的含冰量,并随深度减小,此层厚度从40~50 m减为15~10 m以下。这些土的冷生构造逐渐地由微细而多条纹的层状、网状和层-网状过渡到粗而稀疏条纹的、粗网状的、块状的和厚度达几厘米的稀疏水平冰夹层。后冷生松散层的下部主要是含有零散冰条纹的整体状冷生构造。在不均质成分沉积土的后冷生层中冷生构造和含冰量就不存在沿剖面的规律性分布,而是首先观察到形成一些高含冰量层。有时可能在含水层中形成静水压力,以致形成侵入冰透镜体和迁移-侵入成因的厚层冰矿体。在沉积土的后冷生层近地表部分经常沿寒冻裂缝形成后冷生冰脉,在其上部宽1~3 m时可深为6~8 m。

应当指出的是在后冷生土的底板以下(无论是坚硬岩石还是沉积岩)经常分布着具有负温而不含冰的岩土。通常这与从正冻结土层的孔隙溶液中压出易溶盐(氯化钙、氯化镁等)并在冻结层底板下浓缩有关。其结果是形成高矿化(在200 g/L以上)的冻结层下水(有时还有冻结层间水),它们的冻结温度比0℃低得多。这种位于含冰的后生已冻结土底板下含有冷液的负温土的厚度可以变化于50~500 m以上。

发育后冷生土层无论在面积上还是剖面上经常被水平、倾斜或垂直向具有正温的融区带(融区)所间断。在冻土连续分布条件下,融区的形成首先与地下水的加热作用有关。这些地下水是沿着地质构造断裂、坚硬岩石的裂隙系统和空穴或由粗分散性物质组成的透水层渗透的。

在沉积岩土的后冷生层中随其形成和随后发展期的长短可以有整个系列的成因亚类:沿整个厚度短、中、长周期加积的,在不同加积和退化周期时上部加积、下部退化的(或相反),整个土层退化的等。

松散土的共冷生层形成于更新世地质构造缓慢下降并被大陆沉积堆积作用相抵

消的区域,区内因此广泛发育着最新堆积的大陆层(冲积的、三角洲的、海滩-低湿草地的、风成的、斜坡的)。这首先是俄罗斯北方和东北方的北极沿海平原、中雅库梯平原、大型河谷地段、北方低洼沿岸湿地以及堆积着泥炭沼泽生成物的洼地。共冷生堆积层的最大厚度(60~80 m)是在北方沿海平原。那里10~15 m深处的年平均土温在 $-5 \sim -12^{\circ}\text{C}$ 以下。在其他地段共冷生沉积层的厚度很少超过20 m。总之,共冷生层具有独特的和独一无二的外貌、成分、结构和性质。通常它由富含粉质土、腐殖质化、高孔隙度和富冰的沉积物组成,其中冰占体积的70%,使它在融化时呈液态。它的含冰量具有沿剖面均匀分布的特性。识别共冷生层可用含有稠密冰夹层和土的有机矿物部分聚合结构的中、细条纹有规律互层的冷生构造。它的特殊性与形成共冷生冰脉有关。它与后生冷生的冰脉相比具有上部宽度和垂向厚度大,波形侧壁,弱褶皱破坏和冰脉间土的高含冰量等特点。共冷生层始终下垫后冷生土层,即存在共冷生土的剖面中多年冻土层按照剖面应称之为多生的。

土处于冻结状态的开始时间在俄罗斯境内还未明确确定并有剧烈争论。推测在组成极北低地的厚层多年冻土剖面中可能保存着上新世的冻土,而其他地方则是更新世的,还认为欧洲北部和西西伯利亚的冻土在全新世气候最佳期(8000年前—4500年前)时并未全部融化,形成了残留冻土层带。在随后的晚全新世转冷和与它相关的新生冻土作用下,西伯利亚和极北的大部分地域残留冻土与晚全新世重新冻结土相衔接。在西西伯利亚和欧洲北方的南部这些冻土层没有发生这种衔接,结果存在双层冻土层,其间有厚度从几十米到百米以上的融土层。

§ 1.2 研究冻土条件的工作方法原理

地球北极、亚北极和温带等地理带自然环境所固有冻土条件的形成、存在和空间变化规律是冷生岩土带综合研究的结果。冻土条件是指季节冻土和多年冻土以及冻土地质过程和现象的形成、发育及存在地域的自然条件。它们是这些自然条件的功能和组成部分。因此冻土条件决定于发生土与大气层换热的自然环境中的地带性和区域性因素。此时地带性因素,如当地的纬度、高度、气候、植物带和地区是背景性的。在冻土条件形成中区域性因素对它们施加不同程度的增强和削弱影响。属于区域因素的有地质构造结构,新构造运动和地震活动性,地质组构(岩石的成因、成分、结构和性质),地形,地表水和地下水,小气候特征,沼泽化程度和其对形成多年冻土有关的因素。显然,研究多年冻土的形成和发展的规律不能不用综合研究方法。它可以从冻土形成因素和冻土本身特征方面说明研究区组成冻土条件的自然环境。此时研究的主要任务是揭示个别冻土特征和自然环境个别组分之间的因果关系。А. В. Кудрявцев

认为这些双向关系是形成季节冻土和多年冻土的局部规律。根据现场观察和计算确定的每个冻土特征与研究区自然环境整个组合间的相互关系是形成冻土条件的一般规律。根据已确定的冻土局部和一般规律研究自然环境中的冻土特征是通过冻土测绘进行的。

冻土测绘是综合现场、实验室和室内工作研究季节冻土和多年冻土,冻土地质过程和现象的形成,以及时空变化规律与现有自然条件在一般行星性气候变化影响下、自然界的天然发展背景下与当地生产开发影响下它们的变化关系。

冻土测绘的总方案包括三个依次衔接的阶段:准备的、野外的和室内的。

在准备阶段按照工作大纲中的科学和生产任务进行:收集冻土专业研究和其他自然条件研究的档案和已出版的资料,并且分析当地建筑和其他开发经验的资料;预先判读航空相片和卫星相片,编制初步地貌和景观小区划图;选择重点地段并对每个重点地段编制研究大纲;编制航空目测和相关地面踏勘线路的研究大纲和方案及其他准备和组织工作。

野外阶段工作开始于航空目测研究,然后在重点地段和踏勘线路上开展工作。随着所得实际资料和对它的分析后修正野外工作大纲以求提高冻土研究的质量和工作效率。在野外工作时期应用所有工作方法综合研究冻土条件,季节冻土和多年冻土的成分和性质,所有岩性成因类型土的冷生组构和冷生构造形成的局部和一般规律;详细描述和研究新第三纪和第四纪松散堆积物露头并为包括绝对年龄测定的所有分析项目采取土样;研究基岩露头的裂隙度,冰在岩石裂隙中的存在条件等;研究冻土地质过程和其生成物,进行现场试验工作,编制野外冻土图和剖面图。在野外工作时期还要研究建筑经验以及与它有关的自然条件的破坏和技术成因冻土地质过程的发展。

在室内工作时期要完成野外和实验室研究资料的整理和分析,应用计算和模拟法更加精确自然环境的每个因素对形成土的温度状态和季节冻结及融化深度的影响,对自然的和预报的冻土条件编制最终的冻土图,编制冻土预报和冻土的区域分类。最后为施工和其他开发评估当地的冻土工程地质条件并为优化冻土条件定向改变自然环境提出建议。报告要给出研究成果,它的依据和科学结论,以及图件编制和分析的方法,预测由于预期施工或其他种类开发以及为生态和自然环境保护所需定向控制冻土过程建议措施的结果对冻土条件的影响。在冻土测绘过程中研究冻土条件主要应用两种研究组织方法:地域的景观区划法和重点地段法。

景观区划法。景观区划要早于野外冻土研究。它的目的是把当地地表划分成不同于其他地段并具有一组有依据的、自然环境因素特征稳定的、成因上均一的地段。季节冻土和多年冻土的形成和存在正是与这组因素密切相关。图上所划分出的这种地段就是景观类型(小区)。每一小区内一定具有相同的自然条件。在景观区划图上

划分出相互不同地段可能性紧密地与自然环境的复杂性和可变性以及研究比例尺有关。因此在景观区划开始前要按地段汇总所有的地质和地理资料,评估它的代表性,而后制定区划的分类标志和确定这些标志的参数变化范围。在图上区分景观类型要应用航空相片、卫星相片和所有自然地理、地质、地貌、土壤和其他专业图件。

在地质构造和岩性基础上编制景观区划图要考虑地形、植被、沼泽化、地表水和地下水、气候特点等。研究地段的区域特点确定区划因素的选择和划分地段的顺序是根据上述因素的参数变化范围的大小次序和限制得到的。

在划分景观类型时首先必须以地壳的地质结构单元为基础。它具有不同的大地构造和地质组构、水文地质和地热条件。在已划分的地质构造部分范围内是根据地形绝对高度、山坡的朝向和坡度划分出主要地貌成因组或一些单元的较小地段。在很大程度上与地形有关的是第四纪堆积物的成分及厚度特征、植被、小气候和地表的换热条件。在地貌成因组或一些地形单元范围内按土的成分和含水量、植被类型、沼泽性、泥炭性和地表的微地形进一步划出具有均一冷生条件的地段。按照分类先按一个标志,再按另一个依次划分用地,最后得到所要求研究比例尺的景观单元类型,在此类型范围内的自然条件几乎是均一的,保证具有不同于其他景观特点的季节冻土和多年冻土的一定类型。

重点地段法。在野外工作时期研究冻土条件最好和经济的地段不是在整个工地用同一详细程度进行测绘,而是在能应用所有研究种类和方法的一些面积不大的重点地段进行。所以选为重点的地段应当既具有典型的广泛分布的冻土条件,亦有局部分布(异常的、非地带性的)的冻土条件。在选择重点地段和对测绘区编制工作大纲之前先要了解已发表资料中的区域冻土背景和比测绘比例尺小的小比例尺冻土图。在重点地段采用集中研究法,在它范围内分出的景观类型要比其他测绘地段详细2~4倍。这对研究冻土区条件复杂的大工地具有重要意义。所以在小比例尺测绘时每个重点地段最好能有几个小区,这样不仅能对每个小区确定局部和一般规律,还可用实际资料揭示整个研究地域冻土的区域性规律。在大比例尺测绘时重要建筑物下的专用场地能起重点地段的作用。

被选的重点地段既要有最典型的,亦要有该地区的异常冻土条件,并且应当包括:(1)所有地质成因综合体和岩土体的地质建造;(2)地区有代表性的地形;(3)分布最广的季节冻土层和多年冻土层类型;(4)主要的冻土-地质现象和融区。

重点地段的数量取决于地域内自然条件和冻土条件的复杂性和它们的研究程度。具有最复杂和易变特征的自然环境是稀疏岛状和岛状分布的多年冻土区,即年平均地温越过0℃的地区,形成本质上土的全新状态和冷生组构、成分和性质上的特性。此时在研究总量中分析自然环境因素对形成冻土条件(土的温度状态、季节冻结和融化、

土的含冰量、冻胀和热融过程的发展等)影响的作用增大。属于复杂冻土条件地段的还有含有重复冰脉和广泛发育着热融、寒冻开裂及有新冰脉生成的厚层低负温共生多年冻土层的地区。此时冻土层剖面的成分和冷生构造变化较多,则重点地段的深入研究方法的作用亦更大。测绘的比例尺越大,对这种关系增加的针对性任务就更加确定和更具方向性。总之,根据各种比例尺的冻土测绘经验可知,在重点地段进行的研究比其他必须研究地段要更详细4~9倍。

由冻土研究实践可知,一般任务的重点地段尺寸在小比例尺测绘时波动于1~10 km²,在大比例尺测绘时波动于0.2~1 km²;特别任务的重点地段尺寸可分别为0.2~2 km²和0.1~0.5 km²。在选择重点地段时还必须考虑能开展钻探和地球物理勘探工作及经过河谷并出露在分水岭的重点地段,重点地段是信息量最大的。此时在每个重点地段要研究几个能确定冻土和自然特性双向(局部)相互关系的小区,并且据此确定相互的变化(当地的冻土规律)。随后按照对所有重点地段这种分析结果确定区域性冻土规律,即在自然环境所有组分变化影响下整个研究区冻土特征的变化。

为了能最全面和合理利用研究区内已有钻孔、试坑、隧洞和其他开挖面,重点地段最好设置在矿区和有密集钻探、矿井、沟渠和探坑网的各种建筑工地。这些地段是今后最有利用价值的,应当首先并最详细地加以研究。在确定重点地段的数量时应当考虑整个研究区自然条件的复杂性、大小、特征和重点地段任务的目的性。此时应用航空相片和卫星相片对加强选择的依据有很大意义,而且主要是有了预先综合判释自然条件和冻土条件的可能性。

重点地段上研究的充实度决定于它在研究形成冻土条件的局部和一般规律以及在获得整个测绘区主要冻土特征值方面的作用。研究深度应当能给出区域内新生代至今的冷生发展史资料。在重点地段确定的冻土规律应用分析景观区划图并按冻土特征从一个景观类型推广到另一个的方法直到测绘区其他有相似自然条件的地段。

总之,测绘区按照重点地段、线路考察和区域剖面的冻土研究结果应当确定:(1)各种地质地理环境的地表换热特点;(2)各种景观条件中土温年波动深度和年换热量;(3)土温状况的形成规律与其成分、含水量、积雪和植被等的关系;(4)季节冻结和融化深度与主要自然因素间的关系;(5)冻土地质过程和现象与各种地质地理条件的关系;(6)多年冻土层的厚度、埋藏条件和分布规律;(7)多年冻土各种冷生构造和含冰量在剖面 and 走向的形成及分布规律与它们冷生成因(共生的和后生的多年冻土层)的关系;(8)冻土、正冻土和正融土的物理-力学、热物理的性质以及它们的变化规律;(9)多年冻土层与地下水的关系和相互作用;(10)融区带的形成规律;(11)多年冻土层的发育历史;(12)地域的生产开发对冻土条件的影响。

路线研究是查明均质自然地段和它在重点地段之间或任何一个冻土特征已有良

好了解的地段间差异程度的野外工作方法。在重点地段确定的主要规律用路线研究推广到相似小区。为此在开始野外工作之前进行航空目测,进一步确定在准备阶段指定的地面地球物理断面和主要路线的位置,基准露头的地点,重点地段的位置和大小。

路线研究的主要任务是:(1)为评估自然条件变化研究地质、地貌和地植物的边界和微地形综合体;(2)沿路线测量季节冻结和融化深度随地表微地形、土壤盖层、沼泽度和泥炭度的变化;(3)研究冻土-地质生成物的形态和剖面并采样做分析;(4)研究地表水并采样分析;(5)研究新生代堆积物的露头并采样做土的岩性-成因类型分析;(6)研究地下水出口(冻结层上水、冻结层下水和冻结层间水的循环)和采样分析;(7)研究冰椎的形态,确定其成因并取冰样做分析;(8)研究露头中基岩的层理和裂隙性;(9)深入研究岩石中的软弱带(断层破坏带、高裂隙性带和厚风化壳带);(10)研究自然条件的破坏及由它导致的冻土过程。

要以最少的劳力耗费成功地完成上述任务首先取决于合理地选择路线。路线的布设应当根据对地区已有的冻土、水文地质和工程地质条件资料的研究,分析大区域的地质、地貌和新构造运动的构造,预先判释航空相片的结果。建议在冬末开始融雪前进行航空目测,可以观察到大小河流河床中完全未冻结的水源和在边岸带与路堤横切小水流时沿冰椎的水源。

在规定路线时最好遵循以下规则:(1)路线应当穿越初步小区划分出的所有主要地段;(2)路线应当沿着主要河谷通向分水岭和来水的侧向支流;(3)路线的密度和观测点间的距离决定于地段或地区的具体条件和它的复杂性,在重点地段和深入工作地段上 1 km^2 内的观察点数目是最多的;(4)在测绘过程中应对路线研究计划进行更正。

在路线研究中建议必须使用比测绘比例尺大的地形图、地质图和航空相片。说明小地段上自然条件和冻土条件特征的总平面图的许多细节只有在比例尺为 1:1000000 或其放大的卫星相片才能看到。

每个路线组应当拥有自己路线的预选研究过和判释过的航空相片和卫星相片。观察点应当布设在那些研究对象上,如岩土厚层冰和多边形冰脉的露头,水源,冰椎,热融的、岩溶的、寒冻开裂的和冻胀的生成物形态,滑坡,小区内和边界上发育新冻土过程的地段。观察点的描述应当包括从上一个点起的距离和观测点周围所及的面积。

在观察点记录自然条件的变化(植物特征、地貌单元和它们地段的更替、土的岩性特征变化、地表的排水性等),以及地下水、湖泊和水流的出口,并采集水样做分析;冻土融化深度,冻土-地质过程和现象,其中包括技术成因的、露头、旧的开挖处、房屋和工程建筑物有变形的地段等。沿路线的观察点间距取决于自然条件的复杂性,并在复杂的自然条件和重要设计地段上加密。

冻土测绘和图件的合格性取决于它们的质量、信息量和可信度,以及所获得的与现代科学发展水平相应的资料和图件。保证合格性不仅是一定的工作量,还有所有研究种类和方法以及它们的实施质量。如果在测绘过程中在当地确定并被计算证实了形成冻土条件的局部和一般规律并可解释它们空间变化的原因就是达到了对质量的要求。此时如果所获得的冻土信息可以从冻土规律加以分析,这些信息就可在冷生的自然因素和条件定向变化时用作编制冻土图和冻土预报的基础。

组合不同比例尺的测绘可以提高合格性。例如最好合理和经济地组合大区域的小比例尺综合性测绘与生产上特别重要地段的中、小比例尺测绘。在此情况中后者在这些用地的首先开发时可用作冻土的详细论证,同时亦是大区域小比例尺测绘的重点地区和地段。

成因法是从确定冻土条件的产生、发展和存在的原因来研究它们的基础,亦是描述这些条件的自然因素和冻土特征分类的基础。这一方法把地质、自然地理因素和条件与冻土因素和条件联合在一起进行研究。这是从冻土测绘理论原理和它实施的实际经验中得来的。

所有自然环境与冻土环境的因素和条件联合成三组分类标志。第一组分类标志是决定形成季节和多年冻土的自然因素,如当地的地质结构和地貌结构,水文和水文地质条件,季节和多年冻结土层的岩性成因特点、地植物和气候条件。

第二组分类标志是表示地表和土中换热特征,按照地理位置(当地经、纬度),气候的大陆性,年平均地温,地表温度波动的周期长度及与形成、存在季节和多年冻土层有关的冻土层底板的热流值,按照含冰和冷生构造划分出与其相应的冻土层。

属于第三组分类标志的是冻土层的分布、冷生构造和局部冻土特征。例如按照冻土层的分布分为连续的、断续的、大片岛状的和岛状的;按照在剖面上的层位分为自地表整体冻结的,距地表相当大深度处整体冻结的(包括残余冻土),含有一层或几层融土的层状的;按照发展和存在的动态可分为整个厚度退化的,冻土层上部退化和下限处加积,以及相反地上面加积和下面退化,整层加积的;按照冷生成因(冻结和发展类型)分为后生的、共生的和双共生的(冻结自上而下和从变浅水域的冻结边缘)。

三组分类标志是相互联系的:第一组标志决定着第二组标志,它们又共同决定着第三组分类标志。冻土研究时为了地域的景观区划应用第一组和部分第二组分类标志,包括在重点地段确定的冻土层特征和可以确定它们在研究地段全部景观类型中变化规律的第三组标志可用来编制冻土图和冻土预报。在预报中第一、二、三组标志相互结合以揭示多年冻土现在状况的原因和预报它们的可能变化。在编制一些地区的冻土图时为了分类选择表示它们特征的那些标志和值的界线以确定其特殊性。按照冻土层的区域分类编制图例并确定冻土特征和自然环境因素的变化范围。根据揭示

的自然条件和冻土条件的因果(成因)关系每次把标志按等级排成序列,还应强调的是分类标志的选择经常是由冻土测绘和图的目的预先确定的。

冻土测绘和冻土图的比例尺。与自然界其他专业研究相似,冻土测绘和图件可分为小比例尺(1:500000 到 1:100000)、中比例尺(1:50000 到 1:25000)和大比例尺(1:10000 到 1:5000)。在施工勘测时编制一些比例尺为 1:2000 到 1:1000 或更大的工地施工平面图。比例尺小于 1:500000 的野外冻土测绘是不进行的。当积累了各种比例尺冻土资料和有实际的和科学的需要时就为冻土区的大地域编制比例尺为 1:1000000 到 1:10000000 的或更小的一览图。此时多种测绘比例尺的冻土图就可以应用其他自然专业图、航空相片和卫星相片深入研究分析它们之间冻土条件局部、一般和区域冻土规律的重点地段和地区。选择具体的测绘比例尺(从 1:1000 到 1:500000)取决于研究的专业目的和开发阶段,以及研究地域自然条件的复杂性。

在进行任何比例尺测绘时应当遵守统一的方法,包括研究冻土规律的同一种类型的方法,以此为基础编制冻土图,预报冻土环境变化和为了改善生态和合理利用自然环境控制冻土过程。显然,小比例尺测绘给出的是对包括大、中规模自然环境的大面积冻土条件的认识。

中比例尺冻土测绘始终是目的性明确并在属于一定经济开发种类的相对不大面积上进行的。大比例尺研究中比例尺是更加专业地在某一确定的建筑种类上进行的。小比例尺冻土测绘像其他种类专题小比例尺研究一样是进行中、大比例尺研究地域冻土条件的基础。由测绘确定了解的大面积地域冻土的形成,发展的区域规律可以正确理解这些规律在面积有限地段的更加详细(当地)的表现。所以个别地段详细的冻土研究没有相邻地域冻土条件的广泛并与不同比例尺测绘的组合相比较效果总是欠佳的。

为了研究确定测绘时的区域冻土规律,作为区域冻土背景可以利用:对小比例尺测绘是 1:2500000“苏联冻土图”(1997)和其他 1:000000 到 1:1500000 比例尺的冻土图;对中、大比例尺测绘是按小比例尺测绘成果编制的冻土区划略图和冻土图,如果没有就用上述比例尺的大区域冻土图。

冻土图。冻土测绘资料应当反映在专业冻土图上。B. A. Кудрявцев(1967)认为冻土图是它们的主要文献。属于它们的图件有:(1)季节冻土和多年冻土存在条件的小区划图;(2)冻土和它们年平均温度分布图;(3)冻土成分和含冰量图;(4)冻土层的厚度和冷生构造图;(5)土的季节冻结和融化图;(6)冻土地质过程和现象图;(7)与自然因素动态和一般施工措施有关的冻土特征变化的预报图;(8)生态评价图或必要时为解决所提出的实用任务的专业评价图。上述图件随冻土测绘的目的和比例尺以及地域的区域特点可以增减其数目。图件应当附有剖面图和大比例尺插图。编制上述

任何一种图件应当根据相应的自然因素和多年冻土、融区、冻土地质过程和现象分类。

冻土图是冷生岩土带区域性综合研究的主要成果。在测绘比例尺中编制的方法依靠测绘时两组冷生形成因素和条件的同时研究:(1)地带性景观气候的;(2)区域的构造地质、水文地质和地势的。首先在已有良好了解的重点地段编制符合测绘方法的图,随后按照景观区划图根据景观指示法把冻土特征推广到它们之间了解较少地域上的相同地段。

图上表示冻土条件的主要方法是分别描绘整个研究地域的每个冻土特征和自然环境的每个冻土形成组分。这种方法不仅按图件可以获得冻土环境的任何一个参数信息,而且还可以大致地追踪它们每个参数在测绘地域内的变化,亦可提示和评估它们与自然环境因素的关系。

冻土图的综合性保证共同描绘冻土特征和自然环境的主要组分,如地质构造、地表的地形和景观条件。研究地域的地质构造表示在本图上(用地质符号和土的成分标志)并在图例中描述这样一些标志,如地质结构(构造地质的和新构造运动的)、成因、土的地质年代和成分。景观条件在图上和图例中是经过地貌水平、地形和小地形形状、植物、沼泽度、湖泊度等。编制测绘比例尺的地质图和景观图等专业图(成分和结构等)是冻土图、自然环境保护图和生态图的基础。

冻土图上表示整个测绘区域的主要冻土特征,即有平面分布,年平均地温,季节冻结和融化的类型和深度,冻土厚度,含冰量和冷生构造,冻土的冷生成因和年代,冻土地质过程和现象。

编制所有比例尺冻土图的方法具有统一的方法特征。这包括它们应当解释和证明为什么(什么原因和何时)在该具体自然条件中形成了具体的冻土条件,它们在地域内有怎样的变化,它们历时的稳定性如何等。由此可知图的编制应以冻土成因原则为基础,证明冻土图深刻的科学意义是认识复杂自然现象(地球冷生状态)的工具。各种大、小比例尺的综合冻土图能较为圆满地回答这些问题。如大比例尺冻土图实质上是工程地质图,因为它的主要内容不仅与土的温度状况和堆积物的冷生成岩特征有关,而且还与它们的工程地质特性有关。为了工程地质评估图上必须表示出在冻结时的冻胀量和融化时的沉降值,要对重要建筑物的大比例尺工程冻土图必须附有施工期和开发地域以后阶段的预报图。此时必须提出有关工程冻土和生态目的控制冻土环境的建议。中、小比例尺的冻土图都是综合性的,因为它们是在研究设计阶段前编制的并且应当回答地域多种经营开发、环境保护和改善生态环境等问题。

此外测绘时期的现有自然和冻土条件的一套冻土图中补充有预测性和评估性冻土图,可以按照冻土、工程冻土、水文地质和生态条件选择最有利的建筑地段预先评估竞标方案。

为了解决各种实际问题要编制大、中比例尺的预报图和评估图。在预报图上绘出计划开发地域过程中有相当大变化并可导致发展灾难性过程的冻土特征值。预报图上的边界形状可以与现有冻土环境图有很大区别,特别是在剧烈施工和其他专用开发地段。

冻土预报。冻土预报是科学地预测将来或者随自然界的自然发展进程,或者随地域经济开发发生的冻土条件的发展和变化。

与融土不同的是冻土的主要特性是它们的热力不稳定性。地表现有的换热条件会导致土的季度的或多年的冻结或融化,即可在短时间内一种过程被另一种替代。在改变土的状态时亦改变着它们的成分和性质,并伴随着发展特殊的冻土地质过程,改造地球景观的强烈的地质和地貌因素。

在自然条件中冻土过程的发展速度和其表现规模取决于自然动态,它们是地表辐射热量平衡,气候和小气候,各种天然覆盖,土的成分和性质,地形特点,地震活动性,地表水和地下水。上述因素的自然动态在短时期内具有不同的变化幅度并使冻土环境有相当大的而且经常是不可逆的改变。

地域的经济开发亦会使冻土条件有相当大的改变。在建筑物的勘测、施工和应用过程中冻土会产生在勘测时原来没有的地方,亦可以是相反的,在自然环境中原先相当稳定的冻土层会融化,丧失承载力,产生大的沉降并发展热融过程。所以,在研究时期有利的冻土条件在建筑物施工和使用过程中可以变成不良的条件,导致建筑物丧失可靠性并且变形,使它们很难使用并且剧增开支。显然建筑物的设计、施工和使用应当考虑上述所有的变化。

评估与人类生产活动有关的自然因素变化的影响下冻土特征的变化是冻土预报的主要内容。这种预报的科学基础是:(1)了解形成冻土条件的局部和一般规律,揭示季节和多年冻土特征与地质、地理因素的定性和定量关系;(2)了解现阶段决定现代冻土条件动态的自然因素的发展史。

冻土预报的目的和任务、种类和阶段是由设计和施工的阶段决定的。随着目的和任务编制自然历史预报或是技术成因预报。自然历史预报的目的是评估与预报的自然过程和因素发展动态有关的冻土环境的可能变化。

技术成因冻土预报的编制是为了评估人类经济活动影响下冻土环境的变化。在工程冻土预报内容中包含评估与各种工业与民用建筑物的施工和工作,以及与控制它们的措施有关的各种技术成因作用,是技术成因改造自然环境和改良生态条件的主要方向之一。

编制工程冻土预报是为了解决以下实际问题,如选择建筑工地和线性建筑物的路线,布置建筑物的方案,铺设各种管道和开采有用矿藏的方法;确定利用冻土作为工程

建筑物地基的原则和各类工程建筑物设计和施工的技术—经济论证所必需的其他系列问题。根据工程冻土预报提出消除和限制对施工和自然环境有害的并为改善生态环境而控制冻土过程的措施。

为了解决上述任务,在编制工程冻土预报时要了解以下问题:岩土上层温度场的形成规律,岩土季节冻结和融化过程的动态、方向、强度和表现规模,季节和多年冻土的成分、组构和性质的变化,因破坏大自然原有平衡而激化和发展新过程的可能性,它们适应新的换热条件而稳定的时间,引起进行性发展冷生技术成因过程的原因。

在编制工程冻土预报时确定的主要工程作用(技术成因的)有:完全或部分清除天然覆盖,建造人工水塘,疏干地表和上层土排水,平整场地改变地形,清除或更换上层土,建造路堑、基坑、采石场等,建造路堤、坝、围堰、填土等,建造人工铺盖,建筑物对地基土所施加的热和力的作用。

小比例尺冻土测绘时编制预报是为了评估大地域的自然资源及其合理开发方法的选择。中比例尺冻土测绘时编制预报是为了地域开发和一定种类建筑,包括论证最佳地段的选择,制定建筑物使用的技术状态和选择控制冻土过程最有效的措施。在此基础上为改善现有生态条件改造,恢复和保护自然环境制定出原则和方法。

大比例尺冻土测绘时编制预报是为了具体工程和其施工步骤的设计。根据具体冻土条件论证地基土的利用原则(或开采有用矿藏方法)做出建筑地段的工程地质评估;规定季节和多年冻土的标准特性;制定出措施以保障工程建筑物的使用,有用矿藏开采和环境状态的最佳条件,而在必要时则是恢复和改造的措施。在该阶段预报的主要种类是技术成因的。在此阶段冻土环境变化的总背景亦是由自然历史预报结果确定的。

根据预报期的长度冻土预报可分为短期、长期和超长期预报。短期预报是为近10年编制的。它表示由于短周期气候波动和建筑工程影响下以及建筑物在头几年使用时冻土条件的变化特征。头几年的变化是最强烈的,对建筑结构稳定性的危险性最大。长期预报的时间是从10年到100年,针对由短、中周期气候波动决定的预报期结束时确定的冻土特征,此时期内的自然环境和建筑物作用的变化。超长期预报的时间是100年以上,是为评估自然因素自然动态影响下自然环境的区域和全球变化,或对特别重要建筑物的冻土条件的变化。

总之可以说,冻土测绘作为揭示季节和多年冻土形成和发展,冻土地质过程与现象的局部和一般规律的综合方法,是冻土预报的一种主要方法。由此可知,其编制必须有冻土测绘的、实际的、实验室的和试验的资料。它们是在冻土测绘中应用计算和物理模拟、相似、成因分类、外推、鉴定评估等方法获得的。

这些资料是为制定可能的最佳冻土条件,良好的设计施工和用地公共工程研制控

制冻土过程的原则和方法在第一阶段的根据。所以提出控制冻土过程的任务既要了解现有的,亦要了解那些将来必须与地域开发设计相符的、自然的和冻土的条件。在冻土区进行的改良工作实践可知,与预报相适应的一些冻土特性的定向改变可以应用各种改良自然环境的方法和措施。所以在每一具体情景中必须选择对该地区能有最良好、效果最合理的水热改良方法。

改良地域的每个地段的研究结束阶段给出实施改良后自然和冻土条件的预报特征,为了监测冻土过程及其纠正要编制改良后的冻土图。

§ 1.3 苏联冻土图,比例尺 1:2500000^①

现代地带性和区域性冻土条件是在新第三纪 - 第四纪时一般行星的冷却过程影响下形成的。与此时期的气候变化和到达地球表面的太阳辐射有关的是形成了很厚的冰盖,改造了地质构造,水文地质,地势和景观条件。给地表和土层的换热条件带来重要变更的是气候的大陆性。与它有关的是陆地和海洋的分布,热量和水分的区域性,在水和大气物质输送途中的地势屏障,植被和其他形成冻土的区域性因素。

由于新生代在欧亚大陆东北部发展的自然过程形成了广阔的冷生岩土带,其主要特征在苏联冻土图上有详细反映。此图包含连续、断续和岛状分布的多年冷生岩土带和它以外土的季节冻结区。后者在中、晚更新世的冻结深度很大,在其南部曾多次从地表融化,而在全新世气候最佳时期终于转变成融化状态。

此图具有研究方法的、科学的和实践的意义,并能获得苏联领土上全面的冻土特征并分析了冻土条件的形成和发展规律。这种分析本身可以揭示每种冻土特性与领土上由地质 - 地理区划结果而划分的具体景观类型自然环境的每个冻土形成因素的关系。在比例尺为 1:2500000 的图下面一行空白处有研究主图内容后描述冷生岩土带的附加信息。

图的编绘方法。它的基础是苏联 20 世纪 70 年代研制的在多年和季节冻土区进行各种比例尺的综合冻土,水文地质和工程冻土测绘的方法。方法的实质是研究和确定季节和多年冻土与形成它们的自然环境因素间紧密的定量关系。为了发现冻土条件的相同和差异以及它们在领土内的变化程度进行了地质构造和景观 - 气候区划。冻土区的这种区划原则是 В. А. Кудрявцев (1967) 提出的,在其研制过程中有 Н. Н. Романовский 和 К. А. Кондратьева 参加。这些原则是在制定冷生岩土带区划和研究各方面的冻土分类中形成的。制定分类的原则规定既有发育季节与多年冻土的自然

^① 本书严格遵循原书翻译,个别名称上与现实有出入——译者注。

因素和条件,亦有描述冻土的特征,冻土本身,它们的标志和性质,热物理状态,厚度,冻土层成因,冷生时代等分类的标志和指标项目。

所以根据区划原则对每类景观确定每个自然因素,冷生岩土带每种特征的形成和发展的影响等级,以及主要冻土特征的清单和它们指标变化区间。此时每个特性指标从一个区间转到另一个区间是根据它与所研究冻土特性的本质或性质变化的关系。这种相互关系可以用在今后编制由于自然条件的天然和人为改变结果的冻土预报。

研究的一个主要原则是在“重点地段”集中所有研究冻土条件的方法。这些地段的面积有限,但对广大地域有代表性并且有非地带性自然条件和与它相适应的冻土条件。分析在重点地段获得的实际资料,补充线路和航空目测研究资料后用制图方法把它们推广到整个研究地域。此时编制专业冻土图的基础是景观区划图。

在编制苏联冻土图时作为“重点地段”的是比例尺为 1:5000 到 1:500000 的野外冻土测绘地区和地段。对这些资料还补充了气象资料(气温、地温、液态降水及积雪的量和状态等)和分析已出版比例尺为 1:500000 到 1:1500000 的自然条件图。广泛利用土的成分和性质的实验室研究资料与冻土的年平均温度和厚度的计算数据。

图的内容。在冻土图上对比例尺 1:2500000 中划分出的所有地形单元按照编图方法分别表示自然环境中形成冻土的主要因素和冷生岩土带的主要冻土特征。这样的因素有地质组构、地形、气候、景观、水文地质、水文和深部地热条件。其中一部分直接绘在图上,另一部分表示在图例中并在图上经过阅读冻土特征揭示它们之间以及它们与自然条件间的相互关系。总之,在苏联冻土图上这种相互关系是通过四组冻土特征间的主要成因关系反映在所有绘图地域上。

冻土地质特征是它们中的第一组特征。图上它是通过石化土的地质建造(主要是前第四系的)和覆盖它的新第三系—第四系堆积物的地质成因组合表示的。后者是值得注意的,因为它们的埋藏起自地表,以及在土与大气层换热过程中的作用和在发展冻土地质过程和生成物中的作用。因此在图上表示厚度大于 5 m 的松散堆积物的成因组合的分布,其特征表示在成因、成分、冻结类型、冷生构造、体积含冰量和冰的大包裹体(多边形冰脉和厚层冰矿体)的图例中。

构成地形的基岩建造表示在剥蚀和磨损地区发育厚度小于 3~5 m 残积、坡积和崩积物地段。石化土在图例中按照温度年波动层范围(15~30 m)内岩土的成分、裂隙度、冷生构造和体积含冰量表示。基岩的地质建造和松散堆积物的成因组合根据比例尺为 1:2500000 的苏联地质图(1983)和苏联第四纪地质图(1976)表示。在冻土图上基岩建造和松散堆积物的成因组合是用地质学中所采用的小符号表示土的主要成分。

季节和多年冻土的分布与年平均温度是第二组特征。它们的形成和发展与现代自然条件中的地表以及土层中的换热有关。

冻土在平面上分布的连续性和断续性取决于各种成因类型贯通和非贯通融区的发育(Романовский, 1983): (1)服从纬度地带性和高度分带性的地表太阳辐射收入的辐射热型融区; (2)由地表水、河床水和湖水形成的水(水热)成型融区; (3)冰川底面由于接近 0°C 的正温所形成的冰川型融区; (4)在多年冻土层和其下垫低于 0°C 的冷土和融土中发生的水热和热过程所形成的水文地质成因的、化学成因的和火山成因的融区。

辐射热融区是分布面积最广的。它还决定着冻土区的断续性或连续性。其他类型的融区是分散的,面积上有极大局限性并且是泛域的。按照多年冻土与辐射热融区的关系,冷生岩土带在图上可分为两大部分: (1)多年冻土连续分布带—几乎没有辐射热融区的北方冻土带; (2)多年冻土非连续分布带(稀疏岛状的、大片岛状的和断续的)—南方冻土带。

多年冻土在平面的分布和它们与融土的相互位置是用划分温度带的年平均土温表示它们形成过程和原因的共性。年平均土温服从地表太阳辐射收入纬度分带性,而 0°C 土温是一个边界,由它向北发育多年冻土,向南发育融土。可是区域因素影响使这条边界呈不连续状,融土可超出范围向北伸入,把多年冻土分隔成岛,结果在冻土区南部多年冻土呈非连续分布。

多年冻土的分布特征(向北增加年平均温度的严寒性,随地形高度增大而增大上层面高度和对自然环境变化的稳定性)在图上用变化于 $0 \sim -17^{\circ}\text{C}$ 以下的年平均土温分级表示(图 1.1)。在南部冻土区由于冻土和融土的年平均土温经常越过 0°C (从冻结状态转变为融化状态和相反的过程),所以它们在面上和历时是最多变的。被融土隔离的多年冻土岛和冻土体的比例自南向北和从低到高地形单元是增加的。图上对南部冻土区每一景观类型冻土和融土的复杂时空关系用以下冻土和融土的年平均温度值范围表示:在稀疏岛状分布区为 $2 \sim -0.5^{\circ}\text{C}$,在大片岛状分布区为 $1 \sim -1^{\circ}\text{C}$,在断续分布区为 $0.5 \sim -2^{\circ}\text{C}$ 。

在图上冻土连续分布带的地温区是自南向北每间隔 2°C 递减的: $-1 \sim -3^{\circ}\text{C}$, $-3 \sim -5^{\circ}\text{C}$, $-5 \sim -7^{\circ}\text{C}$, $-7 \sim -9^{\circ}\text{C}$, $-9 \sim -11^{\circ}\text{C}$, $-11 \sim -13^{\circ}\text{C}$, $-13 \sim -15^{\circ}\text{C}$, $-15 \sim -17^{\circ}\text{C}$ 。只在中西伯利亚台地由于地面高度变化于 $50 \sim 100\text{ m}$,并且太阳辐射沿纬度变化是逐渐的,温度区变化于 $-1 \sim -9^{\circ}\text{C}$,以重叠 1°C 表示,即 $-1 \sim -3^{\circ}\text{C}$, $-2 \sim -4^{\circ}\text{C}$, $-3 \sim -5^{\circ}\text{C}$, $-4 \sim -6^{\circ}\text{C}$, $-5 \sim -7^{\circ}\text{C}$, $-6 \sim -8^{\circ}\text{C}$, $-7 \sim -9^{\circ}\text{C}$ 。

在图上首次表示苏联领土冻土区之外正温景观气候带地域的年平均土温。从冻土区南界向西南到亚热带景观带融土的年平均温度从 0°C 升到 21°C 。图上用间隔 2°C 的 11 个温度带表示。В. А. Кудрявцев(1967)认为此时与冻土区南界相邻着两个从 $0 \sim 1^{\circ}\text{C}$ 的过渡型和从 $1 \sim 3^{\circ}\text{C}$ 半过渡型温度状态。在这些地带由于自然的尤其是