

86.119  
CTW

86.119  
CTW

# 冻土上的地基与基础

H·A·崔托維奇著

中国科学院  
水利电力部 水利水电科学研究院译

中国工业出版社

# 冻土上的地基与基础

H·A·崔托維奇著

中国科学院  
水利电力部 水利水电科学研究院译



中国工业出版社

本書簡略地敘述了冻土上建築物基礎的設計原理，說明了冻土上基礎工程的特点及建築物的使用特点，并介紹了防止在冻结和解冻时土中所發生的不良作用的技术措施。

本書可供从事冻土上建築的工程技術人員和科学工作者之用，亦可供高等建築院校高年級学生参考。

本書由水利水电科学研究院技术处褚德珊和張乃珍两同志翻譯，王正宏同志校对。

Н. А. ЦЫТОВИЧ

ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ

НА МЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

МОСКВА—1958

\* \* \*

冻土上的地基与基础

中国科学院 水利水电科学研究院譯  
水利电力部

\*

中国工业出版社建筑图书編輯室編輯（北京德勝門外大街10号）

中国工业出版社出版（北京德勝門外大街10号）

（北京市书刊出版事业許可証出字第110号）

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

\*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印張 $3^{15/16}$ ·插頁1·字数90,000

1962年9月北京第一版·1962年9月北京第一次印刷

印数001—842·定价(11-8)0.79元

\*

統一书号：15165·1789（建工-242）

## 前 言

本書的出版，弥补了在冻土上建造建筑物方面的普及科学技术資料的不足，而冻土在苏联是分布很广的。

本書是以作者最近几年（1951～1952学年）在莫斯科B. B. 古比雪夫建筑工程学院授課的一部分講义为基础編写而成。

因此，書中只应用了1947年以前出版的关于冻土上建筑的著作和最近几年发表的关于冻土研究的許多單篇論文，所以本书远不能完全地闡明实际遇到的許多問題。在个别情况下，实际上需要以有关机关內的材料来补充缺少的資料。

在本書中，作者力图以簡洁扼要的文字，闡述冻土地基上建造地基和基础的基本原理，以便尽可能地滿足更广大的讀者的需要。这些原理是根据許多有关論文中所詳述的最新的冻土物理学和力学資料，主要是苏联科学院B. A. 奥勃魯契夫(Обручев)冻土学研究所的論文来闡述的。

## 緒 言

在苏联，冻土分布极为广泛，因为在大部分領土上，可以見到逐年的冬季冰冻。此外，約有47%的領土〔1～3〕具有厚达几十米乃至几百米的冻结岩层，它們距地表的埋藏深度不大——从苏联极北部的几十厘米，到东南部的几米。

在冻土上建造建筑物，尤其是建造它的地基和基础，具有很多独特之处；如果在建筑物中对这些特点不加考虑，不可避免地会发生不許可的变形，从而經過几年，建筑物会很快地被破坏。

要开拓苏联未开垦的辽阔的地区，特别是西伯利亞和东北地区，对于广泛分布于这个地区的冻土，必須进行周密的探討和研究。

实际上，苏联的大部分金矿区，都在厚的冻岩层分布区域内。在这些地区內亦埋藏着大量的煤、鉄和其他重要矿藏，例如苏联东部的煉焦煤、兴安岭的鉄、雅庫茨克的金剛鑽和其他矿产都很著名。如果考虑到在这些地区內除黑色金屬外，还有大量的有色金屬矿藏，則必須承認在冻结岩土上建造建筑物的問題是有巨大国民經济意义的。这些地区的南部播种着稻、大豆、小麦；雅庫蒂亞自治共和国在冻结岩层的土壤上，获得大麦的大丰收。这一切証实了所探討的地区；同样对于农业也是具有重要的意义。

在冻土上进行建筑，有其不同的特点；它們有些象建筑在黄土上的現有建筑物，在浸水时，土壤发生湿陷一样。因为在冻土上建筑时，如果建筑物底下冻土解冻，亦发现有湿陷現象。溫度在保持負值时，冻土具有足够的强度。但是，当建筑在为冰块所饱和的冻土上的建筑物受热后，建筑物底下的土逐渐吸取热量而解冻并变为稀釋体（液化体）时，便产生土的湿陷，致使建筑物

毀坏。

在二十世紀三十年代之前，几乎所有建筑在冻土上的建筑物在几年之内，发生了剧烈的变形，完全不能使用。例如，外貝加尔铁路管理处在偉大十月社会主义革命前的二十年間，用于防护“永冻层”的費用，約达五千万金盧布。

在筑路工程中也遇到很大的困难；如大量的小跨度桥、机車工厂、民用建筑物等遭受毀坏。

但是，利用了目前关于在冻土上建筑的現有的理論和工程設計研究，例如在莫斯科，我們就成功地冻土上可以建筑任何的、甚至高层建筑物，且具有很大程度的稳定性。目前，全城都建筑在冻土上，而不許可的变形几乎不存在。但是必須要考慮和掌握冻土性質的施工方法，从而才可以十分安全地在冻土上建筑。

这里建筑者务必要考虑溫度的因素：溫度有任何变化时，胶結冻土矿物顆粒的冰块团聚体状态也在一定部分内变化，直至溫度上升到正值，完全变成水为止。在冻土上建筑采暖建筑物，这个新因素就引起了特殊的困难。

关于冻结岩土和“永冻层”的概念，首先是由俄罗斯人获悉的，勒拿省長П. 哥洛文（Головин）和М. 格列波夫（Глебов）在1640~1643年到莫斯科述职时說：“在雅庫茨基（Якуцкий），陛下，根据工商业各界人士談，谷物耕种是沒有期望；陛下，在夏天，全部土地都不解冻”（М. И. 苏姆金（Сумгин）：“苏联境内土壤的永冻层”苏联科学院出版社，莫斯科，1937年出版，第38頁）。夏天土地不解冻的傳說是完全可以証实的，而谷物“沒有期望”是不能証实的。十八世紀旅行家拉普捷夫（Лавтев）和格米林（Гмелин）指出过，許多岩土处于永久冻结状态下。М. В. 罗蒙諾索夫的著作中亦同样指出过。

早在十九世紀关于冻结岩土已經有了更广泛的报导，当时，有俄美联合公司的工作人員Ф. 夏尔金（Шергин）在雅庫茨克城开掘了夏尔金矿井，在科学上起到了显著的作用。該城位于勒

拿河的大支流上（以后勒拿河迁离該城少許）。該河靠近雅庫茨克城，寬12公里，但是即使紧邻这样大的河流，雅庫茨克城中却没有飲水，居民只得将早先利用冬季儲备的河冰，将其融解而得飲水。1828年在雅庫茨克城，为了城市供水，Ф.夏尔金开始掘井，掘深116.4米（1837年），但未見水。二十世紀三十年代苏联科学院科学研究員В. К. 雅諾夫斯基（Яновский）按照科学院的任务，在夏尔金井底部鑽孔，深达50米，但是，未鑽通冻土。只是以后在鑽入水中时查明，雅庫茨克的冻土层，厚約200~250米。夏尔金井(矿井)曾被用于研究冻结岩层。俄罗斯院士米金道尔夫（Миддендорф）从1844年到1846年居住在雅庫茨克时，首次測得了夏尔金矿井和其他矿井中冻结岩层的溫度，証实在雅庫茨克有极厚的“永冻”岩层。

米金道尔夫院士进行了这个研究工作后，对于二十世紀初修筑阿穆尔和外貝加尔铁路时研究冻土，有着很大的意义。值得指出，Н. С. 鮑格达諾夫（Богданов）的著作〔4〕，第一次討論到了在冻土上建筑的条件。但它多半是描述性的，根本没有涉及基础的計算。

在苏維埃时代，才开始有计划地和全面地研究冻土。

М. И. 苏姆金的著作在研究冻结岩土中开辟了新紀元，該書第一版于1927年在海參威出版，第二版在莫斯科苏联科学院出版社出版〔1〕，而关于冻土上建筑物基础計算的第一部著作，在1928年由国立冶金工厂設計院出版〔6〕。

1930年由于在實踐中提出了問題，按照В. И. 維尔納茨基（Вернадский）和М. И. 苏姆金院士的創議，在苏联科学院組成了五人小組进行永冻层的研究，以В. А. 奥勃魯契夫院士为主席，有М. И. 苏姆金、А. В. 李維洛夫斯基（Ливеровский）、Н. А. 崔托維奇（Цытович）和Н. И. 普洛霍洛夫（Прохоров）参加。1936年該小組改組成苏联科学院永冻层委员会，就在这个基础上，1939年成立了苏联科学院В. А. 奥勃魯契夫冻土学研究所。

由于大型工业建筑物的建筑需要，产生了冻结岩土的一般学说〔1、2、9〕和工程学说〔4~7〕。1927年由于需要在外貝加尔地区设计了一座冶金工厂，这样就需要创立一个能够阐明在冻土上建筑采暖建筑物（包括高温车间）的理论。

以后，冻土的研究就集中在苏联科学院冻土学研究所、施工单位（国家建设局远东边区分局、诺利尔联合工厂、沃尔库建设局等）和地基基础科学研究所。

在国外从事冻岩土研究的学者中，应该推地质学家李菲古安尔（Лефингуэлл），他叙述过阿拉斯加和加拿大地区的冻岩土，并提供了冰楔体形成的理论。另一个在美国的地质学家С.吉别尔（Тебер）主要研究冻土中水分的迁移，并在这个问题上发表了许多作品（1916~1929年），至于有关在冻土上进行建筑的著作在国外并不多〔10〕。例如，在阿拉斯加和加拿大之间修筑道路时，美国人曾用火焰喷射器烧通冰层，作为防止冰层的方法，而在育空河一条支流上，安置八个锅炉，专为烧水之用。当然，这些“方法”不能提出来推荐，因为，还可以成功地采用较简单的方法。例如，在苏联已研究出来并已在实践中采用了的，利用冻土本身的特性作出防止冰层的方法，苏联科学家和工程师在冻土的物理学和力学以及在冻土上进行建筑的理论领域内作出了不少的贡献，但在建筑工程的经验方面，和推广新建筑技术方面，所做的工作还远远不足。



# 目 录

## 前 言

## 緒 言

### 第一章 冻土概論 ..... ( 1 )

#### 一、基本概念和定义 ..... ( 1 )

#### 二、冻土分布地区及其厚度 ..... ( 3 )

#### 三、冻土的某些特点 ..... ( 7 )

### 第二章 冻土中的物理力学过程 ..... ( 9 )

#### 一、概論 ..... ( 9 )

#### 二、土冰冻过程中的温度特征 ..... ( 10 )

#### 三、冻土的水分迁移及其构造的形成 ..... ( 12 )

#### 四、土冰冻时的冻胀 ..... ( 14 )

#### 五、裂縫的形成和其他某些力学过程 ..... ( 17 )

### 第三章 冻土的物理性質 ..... ( 20 )

#### 一、概論 ..... ( 20 )

#### 二、冻土中水的相成分 ..... ( 21 )

#### 三、冻土中未冻结水的含量 ..... ( 24 )

#### 四、冻土中未冻结水和冰的平衡状态 ..... ( 27 )

#### 五、冻土物理性質的特点 ..... ( 28 )

### 第四章 冻土的力学性質 ..... ( 29 )

#### 一、概論 ..... ( 29 )

#### 二、冻土的法向抗阻力 ..... ( 30 )

#### 三、冻土的抗剪强度 ..... ( 37 )

#### 四、冻土对局部荷载作用的极限强度 ..... ( 41 )

### 第五章 解冻时冻土的性質 ..... ( 44 )

#### 一、問題的意义 ..... ( 44 )

#### 二、解冻时冻土結構的变化 ..... ( 44 )

|                                   |         |
|-----------------------------------|---------|
| 三、解冻土的承载力 .....                   | ( 45 )  |
| 四、解冻时冻土的沉降 .....                  | ( 48 )  |
| 第六章 冻土上施工的方法和场地的工程准备 .....        | ( 56 )  |
| 一、前言 .....                        | ( 56 )  |
| 二、工程地质勘察的特点 .....                 | ( 57 )  |
| 三、基础设计方法的选择 .....                 | ( 62 )  |
| 四、建筑场地的工程准备 .....                 | ( 64 )  |
| 第七章 根据保持基土冻结法设计基础的原理 .....        | ( 67 )  |
| 一、某些意见 .....                      | ( 67 )  |
| 二、建筑物和地基冻土之间相互的热作用 .....          | ( 68 )  |
| 三、冬季通风地下室的设计 .....                | ( 71 )  |
| 四、关于基础结构的一般指示 .....               | ( 77 )  |
| 五、基础静力计算的某些特性 .....               | ( 80 )  |
| 第八章 解冻的地基冻土上基础的设计方法 .....         | ( 82 )  |
| 一、各种方法的适用条件 .....                 | ( 82 )  |
| 二、地基冻土解冻深度的确定 .....               | ( 85 )  |
| 三、正在解冻地基的反力和基础的计算 .....           | ( 89 )  |
| 四、关于正在解冻地基上基础结构设计的一些指示 .....      | ( 91 )  |
| 五、用施工前解冻法建造建筑物 .....              | ( 93 )  |
| 第九章 基础隆起计算的原理 .....               | ( 96 )  |
| 一、土的冻结力和冻胀力 .....                 | ( 96 )  |
| 二、基础隆起的计算 .....                   | ( 101 ) |
| 三、防止土膨胀和基础隆起的措施 .....             | ( 104 ) |
| 第十章 冻土上的基础工程施工和建筑物使用的<br>特点 ..... | ( 106 ) |
| 一、在冻土上建造建筑物时的土方工程和基础工程 .....      | ( 106 ) |
| 二、用保持基土冻结法建造的建筑物在使用方面的指示 .....    | ( 108 ) |
| 三、建造在解冻地基上的建筑物在使用方面的指示 .....      | ( 109 ) |
| 参考书籍 .....                        | ( 111 ) |

# 第一章 冻土概論

## 一、基本概念和定义

首先，我們要确定，應該怎样来理解冻土、冻土壤和冻岩土。以前的定义，是曾把所有在負值溫度或在零度溫度以下的岩土，不管岩土中含有冰与否，均称謂冻土、冻土壤和冻岩土〔1〕。这个定义曾为許多冻土学家所遵循。从物理学观点看，只用一个溫度的标志来确定岩土冻结的状态，是完全不够的，还必须考虑到水从液态轉变为固态的相的变化，亦即冰的形成。但是岩土或其他材料的机械混合物，例如带有冰粒、冰片、冰包裹体的干砂，虽然也有負溫度，但还不能标志出岩土或材料的冻结状态。因为固体顆粒沒有为冰块所胶結。

考虑了上述所說的和在其他著作中所提出的定义〔3、7、11〕，我們得到下列的定义：凡是土壤、土、岩土的溫度处于零度或負度，即使其中只有部分水冻结，但胶結了固体顆粒，則称謂冻土壤、冻土和冻岩土。

如果土壤、土和岩土（例如干砂、坚硬岩土等）只有負溫度，則称謂寒土（Морозный）。

在測定土和其他岩土的冻结状态时指出，即使岩土中只有部分的水，而非全部的水冻结，就已足够称为冻结状态。这个原理是基于：即土在冻结和溫度进一步下降时，松散土中的水并非全部变成冰，而有部分的〔12、13〕，即使是数量不多的水，永久处于非冻结状态，这种情况在冻土物理学和力学中，具有巨大的意义，因此将分別詳細地探討于下。

必須指出，以后我們只探討冻土，亦即未經造壤作用的非粘結性的或粘結性的（粘結强度較顆粒本身材料的强度小很多）松

散岩土。有时，我們將利用“冻岩土”这一概括术语，而不将这些岩土分为土壤、土和整块岩土。

我們按照冻岩土生存的时间来进行分类。根据土壤和土冻结状态的延續时间，而将冻岩土分为二个基本的类别：季节冻结土和长期冻结土（几年到几千年），或者如И. Я. 巴拉諾夫（Баранов）所提出的，目前慣用的多年冻结土。

属于第一类的冻结土，有季节冻结而夏季解冻的土层，即所謂活层。这个术语在建筑者之間已获得广泛应用，因为它反映了建筑方面的重要事实：在季节冻结层中，发生和經歷着一系列的物理学和物理化学作用（风化作用、冻胀作用、冰层形成等），这些作用有害地影响到建筑物基础的安全，因此必須采取特殊措施，以防止它們发生（足够深的基础砌置深度、地下水的排水设备，逕流调节等）。

季节冻结和解冻层的厚度（深度），对于确定基础砌置深度、基础稳定計算，具有重要的意义。

我們亦指出，如果土壤和土的季节性冻结的延續时间，不到一晝夜，則称謂短时的冻结。

第二类的冻岩土有：岩土冻结状态延續时间极長，达很多年，有时达一世紀和数千年。通常这些岩土的厚度，較季节冻结层厚。长期冻结岩土形成了冻土层。

冻结岩土层的冻结状态如果延續很多年（从几年到几十年），称为“多年冻结层”，如果冻结状态延續一世紀，則称謂“永冻层”，同时，在这种情况下，不能認為“永冻”一詞，有延至无限長時間“不变的”概念，而只是指本世紀而言。岩土“多年冻结”（Многолетне мерзлый）状态的概念可以包括許多作者所采用的以及“永冻”的概念。多年冻结和永冻岩层发生在特殊的地質地理地区內（主要在苏联的北部、东北部和东部），它們分別称为多年冻结岩土区，或多年冻结岩土地帶，或冻岩土层地区。

冻岩土层（特別是很厚的冻岩土层）的发生和形成，是在冰

期与冰期后的时期，而它们的生长期，可以用几十年与数千年以上的数值来计算。在个别的地区，应该假定自冻岩土层生长时起，有更长的时期。

在一些地区内岩层（土壤、土和裂隙基岩）的多年冻结状态，由于现代的气候而保持着，但是，在热流增加而使岩层的热平衡变化时（例如，在建筑采暖建筑物时，对排热设备没有采取特殊的措施等等），可以剧烈地破坏多年冻结状态。

## 二、冻土分布地区及其厚度

在苏联，季节性冻结的土壤和土分布于全境。季节性冻结深度，无论在宽和高的方向上，均成带状变化。在北半球土壤和土的季节性冻结层厚度，自北往南的方向而减薄，虽然这个厚度减薄的方向，严格地说并不与往南的方向一致，因为冰冻的等深度线，总的方向是自西北向东南（图1）。

在有冻岩土层的地区，情况却不相同。这些地区每年解冻层厚度，相反地随着向南移动而增加。

上述情况可由表1的资料证实：

土壤和土每年解冻层的厚度(米)

表 1

| 土 类      | 极 北     | 冻岩层南部地区 |
|----------|---------|---------|
| 砂土       | 1.0~1.6 | 2.5~4.5 |
| 粘土和泥炭沼泽土 | 0.2~0.7 | 1.0~2.5 |

多年冻结岩土的分布表示在地图上（图2），该图由苏联科学院В.А.奥勃鲁契夫冻土学研究所于1956年编制（作者И.Я.巴拉诺夫）。

按照1940年М.И.苏姆金进行的计算，在苏联永冻岩土（多年冻结）的分布面积，在1050万平方公里以上，亦即约占苏联领土的47%。

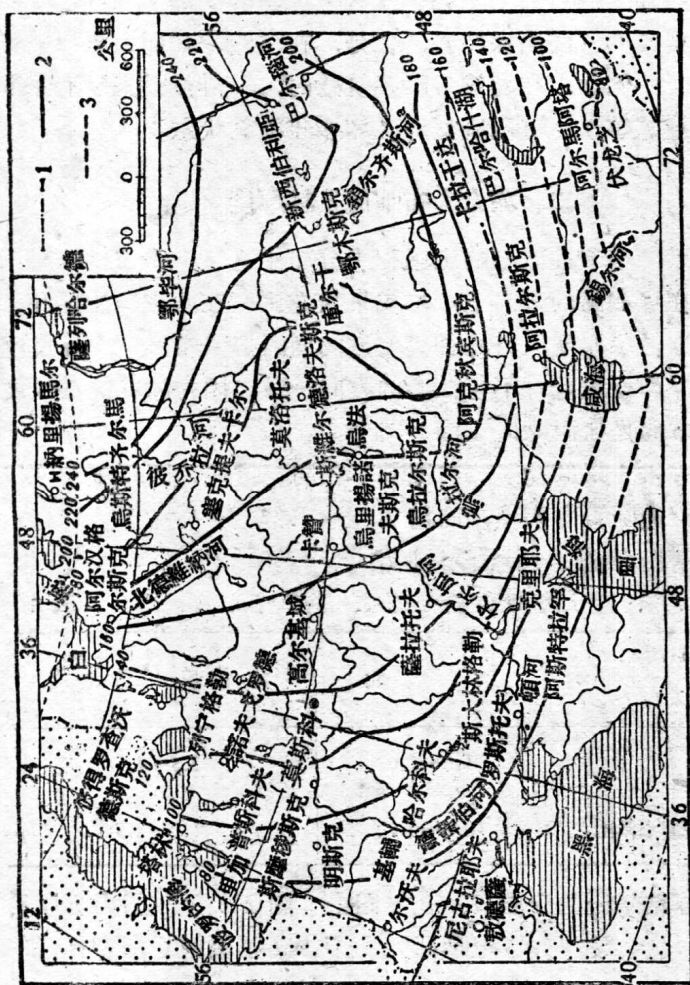


图 1 苏联领土上亚粘土季节性冻结深度图 (按标准和技术规范 HИTb 127-55) (对于亚砂土、细砂及粉砂, 冻结深度则增加到 1.2 倍)

1—苏联国界; 2—亚粘土冻结标准深度等值线; 3—很少勘察过的地区的等值线

# 原 书 缺 页

# 原 书 缺 页



根据国外文献資料〔14〕，在欧亚大陆永冻岩土占有的面积等于1108万平方公里，在北美洲亦几乎有同样的面积，为1101万平方公里，在南极圈有1298万平方公里。这样，全世界永冻岩土占有的面积为3507万平方公里（按照1954年的資料），亦即約占全世界陆地的24%。如果在全部陆地上再加2%的山区冻结岩土，則占全世界26%的陆地，亦即全世界超过1/4的陆地处于多年冻结状态中。由此可見，研究冻岩土和在冻岩土上进行建筑工程的条件，具有十分重要的意义。

冻岩土层厚度相当可观，并且向着北部和东北部增长。在苏联冻岩土层的厚度，从几十米达500米，或更厚一些，在阿拉斯加（育空河）为120米，在斯匹次卑尔根羣島为240米。

### 三、冻土的某些特点

在天然状态下，凡是土（只有排水很好的干砂除外）都含有一定数量的水，当温度下降达负值时，水就部分地冻结，同时胶结土的矿物颗粒。因此，土的温度标志（低于或高于零度）实际上指明湿土的冻结或不冻结的状态。

图3为永冻岩土（或多年冻结岩土）分布区内土层温度剖面图。按照图3，在季节性解冻深度以上的土的温度，并非保持不变，而是根据一年的时间，由正温度变化到负温度。在冻结层上界线（在夏季解冻时所达的深度）的下面，岩土温度經常在零度以下，虽然温度随深度（約15~20米）发生变化，但不超出负温度范围以外。最后，从某一深度开始，冻结层温度逐渐上升达0°，再繼續上升，温度曲线就进入正温度范围内。冻结层上界线到下界线之间的距离，决定了冻结层的厚度。

根据土中水的冻结条件（冷却强度、暖流方向、有无地下水等等），形成了冻土的某种冷却（寒冷）结构，它与未冻结土完全不同。

此外，当土粒間的孔隙水冻结时，产生相当大的胶结内聚力，形成了冻土抵抗外力的巨大强度，也增加了冻土的热指标