地矿测绘
Geological mining surveying and mapping
第 2 卷◆第 6 期◆版本 1.0◆2019 年 12 月
文章类型：论文|刊号（ISSN）：2630-4732

冻土区道路工程的地质灾害成因及施工处理措施研究

代小俊
湖北省地质局第五地质大队
DOI:10.32629/gmsm.v2i6.405

[摘　要] 高寒地区因其所在地环境严劣,人烟稀少,天然植被保存完好,少有大规模的铁路、公路建设活动,国外关于高寒地区道路工程的效应以及生态重建的研究报道并不多。针对近几十年来高寒地区生态环境质量整体下降的趋势以及长江、黄河源头地区生态问题,国内外有关科研单位的专家学者开展了探讨研究,对高寒脆弱生态区的植被退化、土地荒漠化等问题有了进一步的认识,同时对退化生态系统植被的恢复重建技术与措施积累了一些重要经验。作者结合近几年冻土区道路工程建设经验,通过冻土区道路工程地质灾害形成的原因分析,主要是受气候、地形、地质构造、水文因素、地表覆盖条件及逆温层气候的制约和影响,要从生态系统植被的恢复重建和道路工程相关冻害处置技术方面着手进行施工处理,为多年冻土地区道路建设提供一定的参考。
[关键词] 冻土区；道路工程；地质灾害；施工处理

Study on the Cause of Geological Disaster and Construction Treatment Measures of Road Engineering in Frozen Soil Area

DAI Xiaojun
Fifth Geological Brigade of Hubei Geological Bureau

[Abstract] Due to the severe environment, sparsely populated areas, well-preserved natural vegetation and few large-scale railway and highway construction activities in the alpine region, there are few foreign studies on the effect of road engineering and ecological reconstruction in the alpine region. For cold area ecological environment quality in recent decades the overall downward trend, and the Yangtze river and Yellow River source area ecological problems, the relevant scientific research units of the experts and scholars at home and abroad to carry out the research, the degraded alpine plants of the fragile ecological regions, the problem such as desertification had a further understanding, at the same time on degraded ecosystem restoration and reconstruction of vegetation technology accumulated some important experience and measures. The author combined with the experience of road engineering construction in permafrost regions in recent years, the analysis of the causes of geological disasters in road engineering in permafrost regions is mainly influenced by climate, topography, geological structure, hydrological factors, surface cover conditions and inversion layer climate. It is necessary to carry out construction treatment from the restoration and reconstruction of ecosystem vegetation and the related frost damage treatment technology of road engineering, which provides a certain reference for road construction in permafrost regions.

[Keywords] Frozen soil area；Road works；Geological hazards；Construction process

引言

在多年冻土地区,常形成融土分布区,简称融区。其中,构造的因素是一个长时间作用的背景因素,是决定多年冻土与融区分布的重要因素。当融化从地表向下穿透整个冻土层时,称为贯通融区,反之,称为非贯通融区[1]。因融区与冻土区的工程地质条件差异很大,所以要详细查明融区的分布情况。

多年冻土在世界上分布很广,约占地球陆地面积的25%。我国的多年冻土多分布在北纬48o以北黑龙江省北部地区以及西部新疆、西藏等海拔4300~4500m以上的高原区,总面积约为2.5×106km^2,占全国面积的20%左右。青藏高原的永冻层上限埋深在3m以下,河谷地带稍深一些,有的可达10m以上。而季节性冻土则分布范围更广。

俄罗斯学者V Linsky认为,俄罗斯铁路路基变形主要表现为冻胀和融陷。他们运用泡沫聚苯乙烯材料作为保温层,用以减少路基变形保持路基稳定[2]。该学者用有限元模型对路基结构物与冻土间的热交换条件及其应力、应变状态进行了模拟计算。结果表明该材料对铁路路基的多年冻土具有积极作用,并在一定程度上阻止了由于“气候变暖”而引起的多年冻土的退化,以达到保持路基稳定的目的[3]。我国冻土专家综述了青藏铁路建设所面临的一系列问题,并提出了计划与对策[4]。分析了人类活动和气候变化对多年冻土路基稳定性的影响,并提出研究水—热—力耦合模型以及人类活动和气候变化的影响模型。从长远考虑认为应加强铁路路基的长期监测,并将数据集成到GIS平台中,形成能仿真模拟不同冻土条件、路基结构、气候条件下的水、热、力及形变场的“数字路基”平台。另外,英国学者 M CR Davies等学者通过实验研究了岩石边坡的毁坏机制[5]。实验结果认为,由于岩石接缝处冰温度的升高,接缝处的剪切强度降低,造成边坡的不稳定。实验结果有助于我们认识多年冻土区岩石边坡毁坏机制,也证实了评价边坡稳定性的手段,为进一步分析路基稳定性打下基础。

1 冻土的物理和力学性能

1.1冻土的物理性质

1.1.1总含水量

冻土的总含水量 ω_n 是指冻土中所有的冰的质量与土骨架质量之比和未冻水的质量与土骨架质量之比的和[6]。

$$\omega_n = \omega_i + \omega_w' \tag{1}$$

Copyright © This word is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.

式中 ω_i ——土中冰的质量与土骨架质量之比(%)。

ω_w' ——土中未冻水的质量与土骨架质量之比(%)。

1.1.2冻土的含冰量

因为冻土中含有未冻水,所以冻土的含冰量不等于融化时的含水量,衡量冻土中含冰量的指标有相对含冰量、质量含冰量和体积含冰量三种：

①相对含冰量(i_o)

冻土中冰的质量 g_i 与全部水的质量 g_w (包括冰和未冻水)之比

$$i_0=\frac{g_i}{g_w}\times 100\%=\frac{g_i}{g_i+g_w'}\times 100\% \tag{2}$$

②质量含冰量(i_g)

冻土中冰的质量 g_i 与冻土中骨架质量 g_s 之比, $i_g=\omega_i$,即：

$$i_g=\frac{g_i}{g_s}\times 100\% \tag{3}$$

③体积含冰量(i_v)

冻土中冰的体积 V_i 与冻土总体积 V 之比：

$$i_v=\frac{V_i}{V}\times 100\% \tag{4}$$

1.2冻土的力学性质

天然地基的冻胀量有两种情况：无地下水源和有地下水源补给。对于无地下水源补给的,冻胀量等于在冻结深度 H 范围内的自由水($\omega-\omega_p$)在冻结时的体积,冻胀量 h_n 可按下式计算[7]：

$$h_n=1.09\frac{\rho_s}{\rho_w}(\omega-\omega_p)H \tag{5}$$

式中 ω 、ω_p ——土的含水量和土的塑限(%)。

ρ_s 、ρ_w ——土粒和水的密度(g/cm³)。

对于有地下水源补给的情况,冻胀量与冻胀时间有关,应该根据现场测试确定。

冻胀力：土在冻结时由于体积膨胀对基础产生的作用力称为土的冻胀力。冻胀力按其作用方向可分为在基础底面的法向冻胀力和作用在侧面的切向冻胀力。冻胀力的大小除了与土质、土温、水文地质条件和冻结速度有密切关系外,还与基础埋深、材料和侧面的粗糙程度有关。在无水源补给的封闭系统,冻胀力一般不大;如为有水源补给的敞开的系统,冻胀力就可能成倍地增加[8]。

冻结力：冻土与基础表面通过冰晶胶结在一起,这种胶结力称为冻结力。冻结力的使用方向总是与外荷的总作用方向相反,在冻土的融化层回冻期间,冻结力起着抗冻胀的锚固作用;而当季节融化层融化时,位于多年冻土中的基础侧面则相应产生方向向上的冻结力。它又起到了抗基础下沉的承载作用。影响冻结力的因素很多,除了温度与含水量外,还与基础材料表面的粗糙度有关。基础表面粗糙度越大,冻结力也越大[9]。

2 冻土区道路工程的主要地质灾害及其成因分析

2.1路基施工期沉降

由于道路在施工期沉降量的不同,导致道路土体运营过程中初始结构性的不同,进而使得土体具有不同的初始结构强度。土体不同的初始结构强度意味着土体不同的重度及含水量,因此会有不同的冻融特性[10]。

2.2土体产生冻胀现象

随着土中水的冻结,土体产生体积膨胀,即冻胀现象。土发生冻胀的原因是因为冻结时土中水分向冻结区迁移和积聚的结果。冻胀会使地基土隆起,使建造在其上的建(构)筑物被抬起,引起开裂、倾斜甚至倒塌；使得路面鼓包、开裂、错缝或折断等。对工程危害最大的是季节性冻土地区,当土层解冻融化后,土层软化,强度大大降低。这种冻融现象又使得房屋、桥梁和涵管等发生大量沉降和不均匀沉降,道路出现翻浆冒泥等危害。因此,冻土的冻融必须引起注意,并采取必要的防治措施[11]。

土在冻结时由于体积膨胀对基础产生的作用力称为土的冻胀力。冻胀力按其作用方向可分为在基础底面的法向冻胀力和作用在侧面的切向冻胀力。冻胀力的大小除了与土质、土温、水文地质条件和冻结速度有密切关系外,还与基础埋深、材料和侧面的粗糙程度有关。在无水源补给的封闭系统,冻胀力一般不大;如为有水源补给的敞开的系统,冻胀力就可能成倍地增加[12]。

2.3冻土区隧道病害

地下水是多年冻土区隧道病害产生的根源。国内外经验表明：在多年冻土区,只要隧道通过地段无地下水,一般不会出现危害运营安全的病害。多年冻土地区,隧道工程常见的主要病害是隧道衬砌冻胀开裂和衬砌漏水结冰。引起这种些病害的原因是隧道衬砌外围岩融化圈的存在和地下水的渗入作用。隧道建成后,隧道衬砌后围岩将形成一个冻融圈。一年一度的融化和冻结是产生上述病害的主要原因。多年冻土地区隧道设计的主要任务是：设法消除隧道衬砌后的冻融圈,防止隧道衬砌漏水,即不让隧道衬砌后围岩融化,并做好隧道排水和防水[13]。

3 冻土区道路工程的地质灾害的施工处理措施

西藏地区的公路建设有很大的特殊性,以往西藏地区的公路建设取得了许多成功的经验,但失败的教训也不胜枚举,因此必须认真总结经验和汲取教训,结合西部大开发的新形势和新任务的要求和我国经济总体实力逐步增强的实际,创新公路建设思路。在指导思想上应立足干线公路的“长治久安”,以加快发展为重点,以科技进步为动力,以保障通行、促进畅通、提高行车安全为重点,进一步加大投入力度,集中资金和技术力量,逐条逐段提高干线公路的整体抗灾能力和总体服务水平。

3.1冻土区道路路基施工工艺因地制宜

(1)针对不同的冻土条件,确定相应的施工季节和施工工艺施工季节应尽量避开降雨集中、热融作用最活跃的七八月份,宜安排在夏末或秋初,并做好防护,防止地表水流入或渗入基底和边坡,路基地面防护范围应符合设计要求[14]。

(2)对于按保护冻土原则设计的路基,应尽量减少对多年冻土的扰动和破坏,以利于热平衡状态的恢复；尽量减少大气降水的浸润、渗人及冻结层以上水的危害。

3.2改善冻土区水条件

填料宜选用保温、隔水性能均较好的填料,严禁使用塑性指数大于12、液限大于32%的细粒土和富含腐殖质的土及冻土高含冰的土不宜用于路基填料。采用黏性土或透水性不良土填筑路堤时,应控制土的含水率,碾压时含水率控制在最佳含水率±2%范围内。通过热融湖(塘)的路堤,水下部分必须用透水性良好的填料填筑,填筑高度应高于最高水位0.5m以上。

遮阳板路基是一种主动保护路基周边多年冻土的工程措施,即利用遮阳板来减少太阳辐射对冻土的影响,同时也有遮风挡雨的作用。研究认为

Copyright © This word is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.

在青藏公路多年冻土区沿线铺设遮阳板起到了很好的保护冻土、降低基底温度的作用,如图1[15]。

图1　遮阳板路基

Fig.1 Sun visor roadbed

3.3综合治理,注重实效

西藏高原地区公路建设环境复杂多变,工程艰巨,客观上要求必须有足够的投入做保障。这也是过去一些重点病害项目先后“撒胡椒面”式地投入(累计)不少却“久治不愈”的重要原因之一。因此必须改变过去因“限额设计”而形成的治标不治本的做法,在养护保通的前提下,改建整治应以“不诱发新的地质病害,不遗留隐患”为原则,尽量不搞过渡性方案和限额设计,工程措施应一步到位,综合治理,标本兼治,一劳永逸,力争做到“改段、好一段、畅一段,治一段、成一段保一段”。

研究确定病害工点的整治工程方案时,应遵循“技术可行性→经济合理性→方案可靠性养护便捷性”的“四阶段实施性技术原则”。采用现代科技手段进行工程勘察勘探和监测,查明病害的规模、形成机制、主导因素激发因素及抗灾工程各设计准确的参数,对其发生发展规律作出科学地评价,为方案研究提供依据。

4 结论

通过近半个多世纪的冻土科学研究,现在我国冻土地区道路施工研究水平已经处于世界领先地位,冻土研究不仅运用于公路领域,在铁路建设、管道铺装等方面也有着很大的前景。因此,需要对我国多年冻土区路基施工中的水热条件、新材料研发、新技术运用进行基础性的研究。

[参考文献]

[1]权磊,田波,牛开民,等.高海拔多年冻土地区宽幅沥青路面-路基体系热效应实测分析[J].土木工程学报,2019,52(03):118-119.

[2]杨凯飞,穆彦虎,毕贵权,等.青藏工程走廊道路工程阴阳坡效应研究现状及展望[J].防灾减灾工程学报,2019,39(01):189-190.

[3]Geology,Findings from Stockholm University Has Provided New Data on Geology (Holocene development of subarctic permafrost peatlands in Finnmark,northern Norway)[J].Science Letter,2018,23(4):45-46.

[4]刘亚丽,王俊峰,吴青柏.多年冻土区线性工程的生态环境影响研究现状与展望[J].冰川冻土,2018,40(04):728-730.

[5]李长雨,马桂霞,郝光,等.季节冻土地区路基冷阻层温度场效应[J].吉林大学学报(地球科学版),2018,48(04):117-118.

[6]孟上九,李想,孙义强,等.季冻土路基永久变形现场监测与分析[J].岩土力学,2018,39(04):137-138.

[7]汪双杰,金龙,穆柯,等.高原冻土区公路路基病害及工程对策[J].中国工程科学,2017,19(06):140-142.

[8]商允虎,牛富俊,刘明浩,等.多年冻土区桥梁工程桩基础服役期温度场研究[J].岩石力学与工程学报,2017,36(09):231-232.

[9]Matthias Fuchs, Guido Grosse, Benjamin M. Jones, Jens Strauss, Carson A. Baughman, Donald A. Walker. Correction to: Sedimentary and geochemical characteristics of two small permafrost-dominated Arctic river deltas in northern Alaska[J].arktos,2018,24(1):178-180.

[10]邰博文,刘建坤,房建宏.高温冻土区高速公路特殊结构路基地温分布特征及降温效果分析[J].岩石力学与工程学报,2017,36(1):369-370.

[11]陈化育.浅论青藏高原民族高等教育的改革与发展[J].青海民族研究,1998,(03):42-48.

[12]郭学东,常孟元,孙明志,等.季节性冻土地区沥青路面温度场的预估模型[J].科学技术与工程,2017,17(10):294-295.

[13]Qiang Gao, Zhi Wen, Feng Ming, Jiankun Liu, Mingli Zhang, Yanjing Wei. Applicability evaluation of cast-in-place bored pile in permafrost regions based on a temperature-tracking concrete hydration model[J]. Applied Thermal Engineering,2018,21(3):98-100.

[14]梁烈.复杂冻土地区公路加固技术实施与监测分析[J].中外公路,2018,38(06):25-26.

[15]周元辅,张学富,周元江.冻土隧道的保温隔热层参数设计新方法[J].科学技术与工程,2017,17(14):314-315.

Copyright © This word is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.