

青藏铁路工程与多年冻土 相互作用及环境效应^{*}

程国栋

(寒区旱区环境与工程研究所冻土工程国家重点实验室 兰州 730000)

摘要 主要阐述了作为中国科学院知识创新工程重大项目“青藏铁路工程与多年冻土相互作用及环境效应”启动的科学意义,并就 40 多年来中国科学院围绕青藏铁路建设所进行的工作进行了简要回顾。同时,就目前青藏铁路建设中应注意的问题提出了建议。

关键词 青藏铁路,多年冻土



1 研究意义

我国的冻土面积约占全国总面积的 68.6%,其中多年冻土面积占 22.3%^[1]。随着我国经济建设的迅速发展,人类经济工程活动极大地影响了寒区土的冻融作用,造成了脆弱冻土环境及

生态环境变化^[12]。从 1954 年青藏公路砂砾路面的修筑,1982 年青藏公路沥青路面的改建,到输油管线的修筑,由于对冻土环境保护的认识不足,任意在线路两侧取土堆筑路堤、随意破坏草皮植被,造成寒区环境严重恶化,不仅严重影响了青藏公路路基的稳定性,而且也严重破坏了草原生态平衡。以青藏公路建设为例,因冻土环境破坏引起的路基破

坏约占青藏公路破坏总量的 1/4—1/3,按青藏公路一期、二期整治费用(14 亿元人民币)来计算,因寒区环境破坏给工程带来的经济损失约为 3.5 亿—4.7 亿元人民币(不包括因整治道路减少的交通量的损失^[3,4,8,9,10,11])。

西藏自治区地处祖国西南边陲的青藏高原,是目前我国惟一不通铁路的省级行政区。交通运输设施落后,制约了该地区经济社会的发展。目前,进出藏主要依靠公路和航空运输,已有的川藏、滇藏、新藏公路,由于自然灾害导致交通时常中断,只有青藏公路能保持常年畅通,承担了进出藏客货运输的 85% 左右。随着西部大开发战略的实施,西藏以公路为主体的格尔木至拉萨主通道已不能满足经济发展的需要,因此,建设铁路运输通道具有重要的意义。

青藏铁路格尔木至拉萨段,全长 1 118 公里,其中途经多年冻土区长度为 632 公里,大片连续多年

* 收稿日期:2001 年 12 月 17 日

冻土区长度约 550 公里, 岛状不连续多年冻土区长度 82 公里, 全线海拔 4 000 米以上地段长度约为 965 公里。高原和冻土是青藏铁路修筑中必须解决的极大难题。冻土区筑路遇到的主要问题是冻胀和融沉。青藏高原的多年冻土大多属高温冻土, 极易受工程的影响产生融化下沉。铁路建筑是百年大计, 必须考虑全球转暖的影响。IPCC2001 年发布的预测称“全球表面温度预计在 1990—2100 年间升高 1.4—5.8℃”。青藏高原是全球变化的“启动器”和“放大器”, 其升温更早于和高于全球平均值。因此, 高温冻土加全球变化使青藏高原铁路的修筑面临着严峻的挑战。可以说:“青藏铁路成败的关键在路基, 路基成败的关键在冻土, 冻土的关键问题在融沉”。因此, 为保证青藏铁路工程的顺利实施和正常运营, 必须加深对冻土问题的研究。正如江泽民总书记指出的:“尤其要加深对冻土地区的工程地质应用性勘探、研究和试验”。

青藏铁路已经开工, 铁道部门将难度最大的北麓河试验工程交给中国科学院, 要求做成全线的样板。同时, 不断地就勘察、设计、施工中的问题咨询专家的意见, 所提问题大多是为解燃眉之急, 缺长远考虑。在此情况下, 中国科学院启动了知识创新工程重大项目“青藏铁路工程与多年冻土相互作用及环境效应”, 该项目将在解决青藏铁路燃眉问题的基础上, 远近结合, 室内外结合, 工程与理论结合, 以任务带学科, 进一步开展必要的基础性、战略性和前瞻性的研究, 为青藏铁路今后的运营、维修, 为南水北调西线工程, 为青藏高原油气开发及其它寒区重大基础设施建设提供重要的科学储备。

2 中国科学院在青藏铁路建设前期的工作

2.1 早期研究工作

为了全面掌握沿铁路线冻土分布与特征, 1961 年中国科学院就组织队伍, 对全线冻土进行调查与勘探, 建立定位观测站进行长期观测。1969—1972 年, 继续青藏铁路前期工作, 中国科学院全面承担了沿线冻土分布、冻土物理力学热学参数、冻土工程地质评价、冻土工程分类等研究工作。1974 年起大规模开展了青藏铁路建设“冻土”与“盐湖”问题大会战, 兰州冰川冻土研究所组织了 200 余人的队

伍, 承担“冻土分布特征”、“东线的筑路冻土工程条件”、“沿线不良冻土地质现象”、“冻土力学设计应用参数”、“冻土热学设计应用参数”、“沱沱河平原高温冻土分布与问题”、“北端西大滩及南端安多边缘冻土带冻土问题”科研项目, 历时七年。

70 年代末至 80 年代初, 兰州冰川冻土研究所又协同交通部门进行了青藏公路修建的冻土科研工作, 全面进行了“冻土工程地质评估研究”、“青藏公路沿线冻土退化与发展趋势研究”、“多年冻土区道路工程分区分类研究”、“各种路面条件下不同地温带的路基设计高度”、“青藏道路工程设计原则研究”、“高温极高温路段路基稳定性研究”、“工业保温层通风管道在高温冻土段的应用”、“青藏地区涵洞工程的稳定性研究”、“高海拔冻土隧道冻害防治技术研究”以及“高层房建地基稳定性研究”等工作。

90 年代开始, 应用地质雷达新技术、地理信息系统新方法、计算机辅助设计手段及地温温度场现场试验监测等, 对青藏公路沿线多年冻土与人类活动的相互作用关系进行研究, 先后完成了公路工程冻土工程地质研究、冻土路基温度场的试验研究、寒区冻土环境和工程环境变化、公路工程冻土类型划分研究、人类工程活动下冻土环境变化和工程适应性研究、青藏公路沿线的地理信息系统, 完善和系统化了青藏公路工程基础设计资料和冻土数据库资料, 建立了公路沿线多年冻土与公路路基间相互作用的试验场长期监测体系。这些成果对于寒区多年冻土公路工程具有极高的应用价值, 为青藏铁路建设中重大冻土技术难题积累了极为宝贵的第一手资料, 为寒区旱区环境与工程研究所积极参与青藏铁路建设奠定了坚实的基础。

2.2 立项前期研究工作

为早日推进青藏铁路项目的立项, 1998 年, 兰州冰川冻土研究所积极主动地配合铁道部门进行青藏铁路可行性预研工作。核心问题是在不稳定的高原冻土环境下能否成功地修建铁路。该研究充分论证了修建青藏铁路的可行性, 指出铁路修建的关键是高温、高含冰量多年冻土路段(约 100 多公里)路基稳定性问题。

(1) 提出了解决高温、高含冰量地段多年冻土路基稳定性必须以冷却路基保护冻土方法为主的设计思路, 并给出了解决此问题的途径;

(2) 提出了气候转暖趋势下青藏铁路多年冻土及环境变化预测和趋势变化图; 并将有关冻土物理、力学和热学试验研究成果无偿地提供给铁路设计部门, 给出工程设计中冻土设计参数的综合评价;

(3) 无偿提供了青藏公路、新疆公路工程及其它寒区工程、铁路工程对雪害的研究成果, 提出了青藏铁路建设中的雪害防治技术;

(4) 提供了国内外多年冻土区铁路工程修筑的情况与现状报告。

2.3 工程建设工作

本着为国家重大建设工程服务的宗旨, 中国科学院积极配合铁道部门开展工作, 参与青藏铁路工程勘察、设计暂行规定编制; 为设计部门工程勘测、设计等人员开设冻土工程问题专题讲座; 参与设计部门组织的青藏铁路沿线冻土调查, 实地介绍多年冻土区的冻土分布与特征, 指明沿线不良地质现象的具体位置与范围, 并建议了试验工程地段; 与设计院各专业设计组人员进行了多次咨询、座谈, 回答了设计中遇到的各种冻土工程问题, 并提出了相关的设计要点; 将大量的科研成果总结无偿地给设计部门使用; 积极主动地为有关领导和设计施工部门献技献策。

(1) 《青藏铁路多年冻土区工程勘察暂行规定》的编制。暂行规定中涉及的重大关键问题, 即青藏铁路的冻土温度分区原则和方法、多年冻土工程分类和工程地质分区等, 是我所多年来对青藏高原冻土的地温监测结果及青藏公路路基稳定性分析、气候变化对多年冻土的影响等重要研究成果的结晶。

(2) 《青藏铁路多年冻土区工程设计暂行规定》的编制。根据我所科研人员多年的路基工程实践, 提出了路基设计应以冷却路基的保护冻土的设计思路、合理路基高度的设计依据、桥涵防冻胀措施及寒区隧道防冻害措施等一些极为关键的设计问题。

(3) 提供了青藏铁路试验工程的理论基础。为

了建设“高水平的环保青藏铁路”, 我所在分析现有冻土工程科研成果的基础上, 开展了新技术、新材料、工程对策、工程模拟等研究, 以满足工程设计和施工的急需。这些项目的实施, 对青藏铁路的建设起到重要的作用, 同时也为工程设计中采用的工程结构措施提供良好的理论基础。对于目前试验工程中普遍采用的保温材料结构、通风路基结构、抛石护坡结构、合理路基高度等一些工程结构措施, 我所先后参与论证和设计方案的审定工作, 同时在试验工程确定前, 给出了大量寒区道路工程结构措施的理论基础和国内外工程实践的现状与工程效果的对比资料。

为提高青藏铁路试验工程的科研水平和工程实践理论水平, 我所积极参与了三个工程试验段(清水河高温冻土试验段、北麓河厚层地下冰试验段、沱沱河多年冻土和融区过渡试验段)的原始地质资料、多年冻土分布和特征、地下冰分布特征及原始冻土地温的测试工作。在野外工作条件较差的情况下, 我所科研人员仅用 3 个月就高质量地提交出所有的原始资料和研究报告, 为青藏铁路试验段工作的顺利进行提供了坚实基础。

3 青藏铁路建设中应注意的主要问题

3.1 路基稳定性问题

冻土是一种对温度极为敏感的土体介质, 含有地下冰, 与其它岩土工程有本质的区别^[2]。多年冻土区修筑工程构筑物时, 面临两大工程灾害问题: 冻胀和融沉。路基、桥涵、隧道等都会受到这两大工程灾害问题的制约。

无论是青藏公路还是青藏铁路, 必须首先面临多年冻土分布、多年冻土融区分布、多年冻土年平均地温分区、高含冰量冻土的分布等冻土工程地质问题, 它涉及勘测重点和设计原则的制定, 直接关系到青藏铁路路基稳定和投资。另一个极为重要的核心问题是青藏铁路地下冰空间分布问题。地下冰最集中分布在多年冻土上限附近, 修筑路堤后引起多年冻土上限变化, 结果会造成地下冰融化, 导致路堤被融化下沉破坏。由于地下冰受多因素控制, 在空间上形成不均匀的和不同的含冰状态。这种不同的含冰状态直接影响着冻土路基的稳定,

而富冰、饱冰冻土和含土冰层一旦融化就会对工程产生巨大的破坏^[8,9]。对于其它类型工程建筑物来说,比如桥涵、路堑、高边坡等,高含冰量冻土的影响同样是极为关键的问题。在路基稳定性方面,还必须同时面临冻融灾害问题,即不良冻土现象。这些不良地质现象,当它们威胁到铁路安全运营和工程稳定性时,就演变为一种工程灾害。这种工程灾害主要与地下冰、冻融过程和冻土温度有关。特别是在高含冰量、高温多年冻土的斜坡地段,微弱的工程热扰动就可能会引起冻土区斜坡稳定性变化,对于这样一些地表敏感性极强的多年冻土地段,工程勘测、设计和施工都应给予极大的重视。对于斜坡地段出现的冰椎、冰丘、延流冰,对工程的危害非常之大,常会导致铁路的破坏和运营的中断。对于路基附近出现的冰椎、冰丘,常会引起路基产生冻胀问题,也应对其予以极大的重视,并针对具体情况给出防治措施。

3.2 气候变化影响下冻土环境变化问题

青藏公路沿线冻土地温监测结果表明,从 70 年代到 90 年代,青藏公路沿线的季节冻土、融区及岛状多年冻土区的年平均地温升高了 0.3—0.5℃,连续多年冻土区年平均地温升高了 0.1—0.3℃。天然状态下北界向南退化 0.5—1.0 公里,南界向北退化 1—2 公里。在工程作用下,多年冻土北界向南退化约 5—8 公里,南界向北退化约 9—12 公里。气温的升高直接影响冻土工程环境,对于正在运营的建筑物将增大冻害的破坏强度和数量,而对于拟建的建筑物,这种不稳定的寒区工程环境将增大建筑物设计原则的选取及冻土稳定性确定的难度,使寒区建筑物的工程设计面临着较大的挑战^[6,7]。对于青藏铁路来说,冻土退化、年平均地温升高、地下冰融化、多年冻土厚度减薄等都会直接影响和威胁青藏铁路路基、桥涵、大中型桥梁地基、旱桥地基等稳定性。对于多年冻土年平均地温为 0—0.5℃, -0.5—-1.0℃ 极不稳定和不稳定地温带来说,特别是这些地温带中高含冰量地段,多年冻土退化乃至消失,将会极大地引起路基下沉破坏、桥基失稳。因此,对于全球气候背景下青藏铁路沿线多年冻土变化趋势预测、铁路工程作用下多年冻土变化预测

以及两种状态叠加后青藏铁路路基下多年冻土的变化趋势预测、多年冻土变化后铁路工程如何来适应这种巨大的变化等都将是下一步研究的重点,也成为青藏铁路设计必须考虑的一个关键问题。

3.3 环境保护与可持续发展问题

工程活动直接对冻土环境和高原生态环境构成较大影响,目前修建的青藏公路(109 国道)、格尔木至拉萨输油管线工程、兰西拉通讯光缆工程,即将动工兴建的青藏铁路工程等一些在沿线不到 10 公里范围内的大型线性工程建设,对冻土环境和高原生态环境影响非常大。在青藏公路建设初期,由于对冻土环境和生态环境保护意识不强,导致线性工程两侧冻土退化、草原植被退化、沙漠化趋势增强等,并导致工程稳定性变化。伴随着冻土退化,青藏公路沿线自然环境也在发生着巨大的变化,其中最突出的是草场严重退化、荒漠化及生态环境恶化等。多年冻土退化造成了活动层厚度增大,多年冻土消失,地下水位下降,表土层水分减少,使高寒沼泽草甸草原逐渐演变为高寒草甸草原,植物种属也发生变化,植被覆盖度降低。植被破坏严重的干旱地段形成裸露的“黑土滩”地,加速了植物逆向演替进程,加速了草场退化,其中在多年冻土分布最为广泛的高寒沼泽化草甸退化最为严重,这与冻土退化有着极密切的关系^[1,9]。草场退化加剧了冻土退化过程和生态环境恶化,冻土退化反过来会促进草场退化和生态环境变化。

在青藏铁路即将建设之际,应从勘测、设计和施工三个环节考虑,对冻土环境和高原生态环境进行严格保护,以减少工程建设对寒区冻土环境和生态环境的破坏和巨大影响,减少因冻土环境变化和高原生态环境给工程稳定性带来的影响,避免寒区环境的进一步恶化。工程建设和自然环境保护一直是一对极难解决的矛盾。如何避免和尽量减少青藏铁路建设对生态环境的影响?首先必须提高广大铁路建设者们的环境保护意识,在勘察和施工过程中尽量减少对环境的破坏,并制定冻土区工程建筑的环境保护条例。其次,在铁路建设过程中,开展寒区生态环境恢复技术研究,在青藏铁路运营的同时,对寒区生态环境开展综合治理工作,建成

一条高原环保铁路和高原绿色长廊。

参考文献

- 1 周幼吾, 邱国庆, 郭东信等. 中国冻土. 北京: 科学出版社, 2000.
- 2 程国栋. 试论中国高海拔多年冻土带的划分. 冰川冻土, 1982, 4(2), 1- 16.
- 3 吴紫汪, 马巍. 冻土强度与蠕变. 兰州: 兰州大学出版社, 1994.
- 4 吴紫汪, 程国栋等. 冻土路基工程. 兰州: 兰州大学出版社, 1988.
- 5 臧恩穆, 吴紫汪. 多年冻土退化与道路工程. 兰州: 兰州大学出版社, 1999.
- 6 童伯良译. 人为引起冻土条件变化的预报性评价方法. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1992.
- 7 郭东信, 马世敏, 丁德文等译. 工程地质研究中的冻土预报原理. 兰州: 兰州大学出版社, 1992.
- 8 童长江, 吴青柏, 刘永智等. 青藏公路沿线冻土环境工程地质评价及冻土工程处理. 第五届全国冰川冻土学大会论文集(上). 兰州: 甘肃文化出版社, 1996, 373- 376.
- 9 王绍令, 米海珍. 青藏公路沿线铺筑沥青路面后路基下多年冻土的变化. 冰川冻土, 1993, 15(4): 566- 573.
- 10 吴青柏, 刘永智, 童长江等. 寒区冻土环境与工程环境间的相互作用. 工程地质学报, 2000.
- 11 吴青柏, 童长江. 气候转暖对青藏公路的稳定性影响. 冰川冻土, 1995, 17(4): 225- 267.
- 12 周幼吾, 程国栋, 郭东信等. 冻土环境研究现状及任务. 第四届全国冰川冻土学术会议论文选集(冻土学). 北京: 科学出版社, 1990, 171- 176.

Interaction between Qinghai-Tibet Railway Engineering and Permafrost and Environmental Effects

Cheng Guodong

(State Key Laboratory of Frozen Soil Engineering, CAREERI, CAS, 730000 Lanzhou)

This paper narrated briefly the scientific significance of the program startup and reviewed research works of Chinese Academy of Sciences round Qinghai-Tibet railway construction during more than 40 years. Meanwhile, in allusion to main problems in Qinghai-Tibet railway construction at present, this paper gave some suggestions.

程国栋 中国科学院院士, 中国科学院兰州分院院长, 寒区旱区环境与工程研究所研究员。1943年7月出生于上海。1965年毕业于北京地质学院水文地质与工程地质专业。主要从事冻土学、水资源研究。长期从事青藏高原冻土研究, 系统地解决了地下冰的成因、分布规律、制图方法和在其上进行工程建筑的原则及方法问题, 为青藏高原几项国家重大工程建设项目提供了重要的理论依据。曾获1978年全国科学大会重大科技成果奖1项; 1978年中国科学院重大科技成果奖1项, 1984年中国科学院科技进步奖一等奖1项; 1990年全国优秀科技图书奖二等奖1项; 1993年中国科学院自然科学奖二等奖1项。1986年获美国陆军寒区研究与工程实验室名誉研究员称号; 1991年获政府特殊津贴; 1997年荣获“甘肃优秀专家”称号; 2001年荣获国家“五一”劳动奖章。目前主持中国科学院知识创新工程重大项目“青藏铁路工程与多年冻土相互作用及环境效应”研究。