

青藏铁路建设期青藏公路(格拉段)整治
改建工程的冻土环境影响与对策

崔志平, 伍永秋

(北京师范大学资源学院沙漠与沙区资源研究所, 环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100872)

摘 要: 青藏铁路建设期间(2001–2006), 大量人员、材料、设备和生活物资的运输都依赖于青藏公路, 使得青藏公路格尔木至拉萨段(简称格拉段)的交通量大大增加, 对公路路面和桥涵的承载能力带来严峻考验。对青藏铁路建设期青藏公路整治改建工程作了简要的介绍, 并从冻土环境的角度分析公路整改工程与冻土环境的相互影响, 并提出了相应的环保措施建议, 为青藏公路整改工程的决策提供依据。

关键词: 青藏公路; 多年冻土; 整改工程; 环境影响

中图分类号: U412.221; X171.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)02-0139-03

Impacts on Permafrost Environment and Countermeasures of
the Reinforcement and Rebuilding of the Qing- Zang Highway
During the Building Period of Qing- Zang Railway

CUI Zhi-ping, WU Yong-qiu

(China Center of Desert Research at Beijing Normal University, MOE Key Laboratory of
Environmental Change and Natural Disaster, Beijing Normal University, Beijing 100872, China)

Abstract: During the building period of the Qing- Zang Railway (2001~ 2006), the Qing- Zang Highway plays an important part in transporting materials, machines and workers for the railway building. The reinforcement and rebuilding project of Qinghai- Xizang Highway is very important for Qing- Zang railway building. This project has impacts on the permafrost environment. Mutual impacts between the highway and permafrost environment are discussed. Some measures and advice are given for the decision-making of the project to avoid some environmental problems.

Key words: Qinghai- Xizang Highway; permafrost; reinforcement and rebuilding project; environmental impact

青藏公路北起青海省西宁市, 经过格尔木, 南至西藏自治区首府拉萨市, 全长 1 937 km, 是国道 109 线(G109)和丹拉国道主干线的主要组成路段。其中格尔木至拉萨段全长 1 137 km, 全线基本为二级公路标准。青藏公路历经 40 多年的修建、改建和整治, 目前公路路基基本稳定。但是, 由于沿线自然条件恶劣、冻土环境独特复杂, 路面和桥涵技术标准参差不齐, 整体通行能力较低。青藏铁路建设期间(2001~ 2006 年), 大量人员、材料、设备和生活物资的运输都将依赖于青藏公路, 将使得青藏公路格拉段的交通量大大增加, 将对公路路面和桥涵的承载能力带来严峻考验。为保障青藏铁路的顺利建设, 迫切需要采取可靠有效的工程措施和其他应急措施, 对青藏公路格拉段进行整治改造, 以改善行车条件, 提高桥梁承载能力和公路整体通行能力, 满足青藏铁路施工期的特殊要求。青藏公路整治改建工程对周围环境和生态系统的影响是多方面的, 本文仅从冻土环境的角度分析工程与冻土环境的互动影响, 并提出相应的措施建议。

1 工程与环境概况

1.1 工程概况

青藏公路格拉段整治改建工程是青藏铁路建设工程付诸实施的迫切需要和必要保障, 是适应西藏地区交通运输发展、建设进藏综合运输大通道的必然选择, 是提高现有主干公路交通适应性和巩固历次整治建设成果的内在需要。

青藏公路整治改建工程以提高路面和桥涵的承载能力为主, 对路线平纵面和路基宽度原则上不作调整, 保持已形成的公路与高原冻土环境相对稳定的平衡状态, 配合青藏铁路建设的需要, 保障青藏铁路建设期青藏公路的安全畅通。

青藏公路格拉段整治改建工程包括路面工程、路基工程、桥梁涵洞工程以及排水防护和沿线的标志、标线、里程碑、百米桩等交通管理设施。整治路段累计 779.06 km, 其中路面补强 642.57 km, 整治路基病害、重修新修路面 136.40 km, 新建、改建大桥 1 151 m/6 座、中桥 699 m/11 座、小桥 814 m/35 座。工程的主要技术指标如表 1 所示。

* 收稿日期: 2006-04-16

基金项目: 西藏交通厅项目

作者简介: 崔志平(1967-), 男, 讲师, 主要从事领域: 地貌学、旅游规划等; 通讯作者: 伍永秋。

表 1 青藏公路格拉段整治改建工程主要技术指标表

序号	指标名称	数 量	单 位	备 注
1	公路等级	二级	级	
2	计算行车速度	40、80	km/ h	大中桥改线 段均为 80 km/ h
3	占用土地	190. 4	hm ²	临时占地
4	拆迁建筑物	354	m ²	大中桥改线段
5	路线总长	1051	km	其中大中桥改线段长 18. 1 km
6	土方量	166. 8	万 m ³	为大中桥改线段
	石方量	8746	m ³	
7	土工格栅	593. 4	km ²	加铺 5 cm 面层时, 严重网裂处应用
8	新建路缘石	23926. 5	m ³	
9	利用路缘石	5384. 9	m ³	
10	设计荷载	汽车- 20 级, 挂车- 100		
11	大桥	1151/ 6	m/ 座	
12	中 桥	699/ 11	m/ 座	
13	小 桥	814/ 35	m/ 座	
14	涵洞改造	269	m/ 道	新(重) 建 112 道、加固 131 道
15	柱式护栏	23904	根	
16	里程碑	147	块	
17	百米桩	273	块	
18	界 碑	273	块	
19	标 线	45986/ 779	m ² / km	

1.2 自然环境概况

青藏公路沿线为中高山、低山丘陵、河谷平原相间分布的地貌形态。沿途翻越了近东西向的昆仑山脉、可可西里、风火山、开心岭、唐古拉、申格里贡等中高山; 跨越了斜水河、楚玛尔河、北麓河、沱沱河、通天河、布曲河、扎加藏布河、桑曲河、那曲河等。公路横穿青藏高原腹地, 海拔高, 气压低, 气温低。沿线多年平均最低气温- 14. 5~ - 17. 5℃、最高气温 6. 8~ 8. 1℃, 温度较差为 23~ 26℃。属高寒大陆性气候。空气稀薄、大气干洁、气温低、太阳辐射异常强烈, 四季不分明。公路沿线的冻结期可达 7~ 8 个月。年降水量从南向北递减, 拉萨为 500 mm, 格尔木为 40 mm 左右。高降水区集中在唐古拉山以南地区, 每年 5~ 9 月为降水季节, 雨量集中, 夜雨明显。沿线山间盆地多河流与湖泊; 地表植被分布具有明显的纬向地带分布规律, 自南向北出现“草原- 草甸- 草甸草原- 荒漠草原- 荒漠”的植被带状更替。

1.3 沿线多年冻土分布

青藏公路沿线多年冻土分布从 K2879+ 650 到 K3512 + 000, 总长 632. 350 km。该区的冻土根据发育程度又分为岛状多年冻土和连续多年冻土。其中, 大片连续多年冻土从 K2886+ 500 到 K3415, 长 528. 5 km。范围北起西大滩, 南到安多。海拔高程在 4 350 m 以上, 年平均气温- 3. 6~ - 5. 6℃。其中包括由河流和局部地热影响形成的融区。岛状多年冻土在公路北段从 K2879+ 650~ K2886+ 500 在青海省境内, 长 6. 85 km, 公路南段从 K3415~ K3512 在西藏境内, 长 97 km。海拔高程在 4 150 m 以上, 年平均气温为- 2. 5℃。

根据地貌单元和冻土特征的差异, 公路沿线多年冻土可以划分为 6 个区: (1) 西大滩岛状多年冻土区; (2) 昆仑山连续多年冻土区; (3) 长江河源高平原连续多年冻土区; (4) 唐古拉山连续多年冻土区; (5) 桃儿九山连续多年冻土区。 (6) 两道河- 聂荣高地岛状多年冻土区。

2 冻土对公路工程的影响分析

我国对于青藏高原特别是青藏公路沿线的多年冻土研究已经进行 40 余年, 取得了多项成果。在多年冻土的性质、

特征、类型; 多年冻土区线性工程建设的工程措施; 冻土对公路工程的影响; 线性工程对冻土的影响等方面取得了许多重要的成果^[1- 8]。

2.1 冻土特征

冻土“一般是指温度在 0℃或 0℃以下, 并含有冰的各种岩土和土壤”^[9]。多年冻土是指数年乃至数万年保持冻结状态不融化的冻土, 其主要特征指标是: 地温、气温、活动层和冻土厚度。冻土温度反映着多年冻土的生长发育特征, 其高低又是正确评价冻土地基基础稳定性的依据。大气温度是控制多年冻土生长发育的首要条件, 地温是衡量有无多年冻土的标志, 也是冻土环境在自然条件下发展、稳定、退化 的标志。多年冻土的厚度是多年冻土区各种环境因素的综合反映。活动层反映冻土上层地温的变化。

2.2 冻土区地貌过程

在青藏高原青藏公路沿线多年冻土区内存在多种冰缘作用及其形态类型, 主要的过程和相应的形态如下: (1) 寒冻风化- 重力作用, 以此为主导作用而形成的冰缘形态类型有冰缘岩柱、冰缘岩堆、石海、石流坡、石河、倒石堆、岩屑锥及岩屑裙等。 (2) 雪蚀作用, 是使岩石崩解破碎的一种形式。雪蚀作用主要发生在雪线附近的积雪山坡洼地的周边。其主要形态有雪蚀洼地、高夷平台地、雪崩槽、峰林地形、岩屑堆、雪蚀洼地- 泥流扇等。 (3) 冻融蠕流- 重力作用, 冻融蠕流作用产生包括两个过程, 其一是冻爬过程, 即斜坡土体冻结时沿坡面法线方向隆升, 融沉时沿垂直方向回落而产生向坡下移动; 其二, 由于融化期间季节融化层饱水受重力作用影响而顺坡面向下蠕流的过程。冻融蠕流- 重力作用产生的相应冰缘形态, 主要有泥流阶地、泥流舌、泥流坡坎、泥流扇、石冰川、石河、石流坡坎、草皮坡坎等。 (4) 冻融分选作用, 是季节融化层在频繁的正负温波动下反复冻结和融化, 由于差异冻胀使不同粒度成分的物质产生分异、重新组合的过程。由冻融分选作用形成的冰缘形态主要有石环、石网、石条、石带、碎石斑、斑土等。 (5) 冻胀- 冻裂作用, 属于此种作用的冰缘形态, 主要有冰锥、冻胀丘、自喷型冻胀丘、泥炭丘、斑土、冻拔石、冻胀草环、冻融褶坡、土楔、砂楔、冰楔等。 (6) 热融作用, 属于此种作用形态的冰缘形成类型有热融滑塌、热融洼地、热融湖、热融冲沟等。此类型冰缘形态的产生是由于冻土中地下冰融化所引起的, 其分布往往与厚层及透镜状地下冰的埋藏相关, 因此它们多见于山间盆地、谷底及山前缓坡地带。

上述地貌过程均可能对工程产生影响。

2.3 冻土对公路工程的影响

冻土对公路工程的直接影响包括对路基的影响、路面的影响、涵洞的影响, 形成各类公路冻土病害。公路冻土病害主要包括路基病害、路面病害、涵洞病害等。

路基病害 根据有关资料的统计分析, 热融对路基造成的影响和病害占 85%, 冻胀和热融共同影响造成的病害占 7%, 由于施工质量和其它用料等问题造成的病害占 8%。这些病害均系由于人类对冻土的性质缺乏认识, 设计和施工技术不当所引起。

路面病害 冻土区路面病害主要表现为路面裂缝, 包括纵向裂缝、横向裂缝、网裂和龟裂等。这些路面裂缝在冻土地区, 由于雨水的渗入和冻胀, 加剧了路面的破坏。

涵洞病害 涵洞病害主要有以下表现形式: (1) 洞身涵台的开裂和下沉, 涵洞的顺水流方向长度一般在 10 多 m 以上, 其基础有分段设置, 也有整体式的。寒季冻胀、暖季融沉, 涵洞的基础在这种强大的冻融作用下, 由于基础埋深不足, 涵洞

则产生开裂下沉或倾斜等破坏。又因为分段基础涵洞的沉降缝处理不当,使通过涵洞的水部分渗漏到涵底铺垫层下和涵台周围的路基中,将水的潜热带至多年冻土层内,改变了地基土的水热平衡,使涵台下沉开裂进一步扩大,引起涵身的破坏。前期改建工程中修建的涵洞中,产生这种破坏的涵洞已达 17 道,占多年冻土区涵洞总数的 2.1%。(2) 涵洞进出口的破坏,涵洞进出口的破坏是青藏公路多年冻土区涵洞工程中最多、最严重的病害。它包括端墙、八字墙开裂、八字墙倾斜、下沉或进出口坍塌等形式,前期改建工程中修建的涵洞,该类病害的涵洞已达 212 道,占多年冻土区涵洞总数的 27.5%。(3) 涵底铺砌的损坏,涵底铺砌的损坏的主要表现形式是涵底铺砌断裂、铺砌下地基土及基础产生沉降和铺砌冻胀开裂破碎实效等。前期改建工程中修建的涵洞,产生这类病害的涵洞 31 道,占多年冻土区涵洞总数的 4% 左右。

据统计,青藏公路连续分布多年冻土区内,地质条件极差路段 45 处,总长 211.55 km。青藏公路上的严重冻土病害大多数发生在这些区段内,严重冻土病害路段分布与工程地质条件极差地段基本一致。在这些路段内,路基、路面冻土病害发育,路基沉陷、路基纵向开裂、滑溜;路面龟裂、横向裂缝、纵向裂缝、块状裂缝、沉陷、坑槽、波浪等公路损坏现象在不同路段均可见到。

3 公路工程对冻土环境的影响评价

公路工程对冻土环境的影响决定于工程所引起的热平衡变化大小和所在路段冻土的稳定性(即冻土的热容量)。工程对冻土的影响与其它环境要素(水、大气)不同,有一个从地面到地下,由固相到液相变化的物理过程,即对地面的热吸收及其融化过程。这需要时间,因此,公路工程队冻土的影响有一个滞后期。

青藏铁路建设期青藏公路保通工程不同于新建工程,没有道路的开拓和大量的挖方填方活动,是一项在现有基础上对公路病害路段及危桥涵改造为主的工程,只有小量的道路改线和桥梁工程。工程影响冻土环境的主要内容是:路面改造工程、局部路基改造工程、危桥涵洞改造工程、施工便道、保通便道、取土场、取料场挖掘活动及其它施工活动。

3.1 路面及局部路基改造整治的影响

本次工程路面改造长度为 795.19 km,其中分布在多年冻土区内 452.4 km,占总改造路面的 57%,其中路基严重变形(沉陷、纵裂、翻浆),涉及路基维修整治路段 128.52 km。路面轻病害整治一般补强工程,对冻土环境影响很小,对冻土有较大影响的是涉及路基整治的 128.52 km 工程。因这些路段多处于连续多年冻土区中的融区,地势较低,需要填方,如果就地挖、填,在公路两侧将会出现热融湖塘,引起冻土环境的退化。

3.2 桥涵改造工程

本次工程改造要修建大中桥 17 座,其中 8 座处于连续多年冻土区中融区的边缘,属于冻土的敏感区,在桥基施工过程中对冻土层有一定影响。

3.3 施工便道与保通便道

本次工程新修整修的施工便道 18.82 km,保通便道 128.22 km。在连续多年冻土区内,施工便道 9.4 km,保通便道 66.52 km。保通便道工程填方 48.79 万 m³,借方 56.60 万 m³。便道工程对多年冻土环境的影响表现在,便道的修建改变了原来地表的自然状态,改变了原来地表下多年冻土的热量平衡、热交换过程,进而影响冻土环境。本次工程的便道,路基设计平均填高 0.5~0.9 m,均高于临界高度,路

面均采用天然砂砾路面,路基宽度 7 m,路面宽 6 m,热状况已十分接近自然状态,对便道下多年冻土的影响较小。

3.4 取土场

本次工程设计取土场 48 个,其中位于连续多年冻土区内的有 31 个,占取土场总数的 2/3。48 个取土场取土总量为 166.8 万 m³,其中在多年冻土区的取土量为 96.9 万 m³,占取土总量的 58.1%。取土场总占地面积 107.7 hm²(旱地 93.1 hm²,山地 14.6 hm²),在多年冻土区为 61.6 hm²,为总占地面积的 57%。从取土场的分布和取土量看,约有 60% 的取土场及其取土量分布于冻土区内。可研报告中设计本次工程取土场距路一般为 200~300 m,取土深度为 1.5~1.63 m。对路基和冻土的直接影响小,但对区域的热平衡仍有一定的破坏,产生热融湖塘和热融滑塌,是山坡草地受到破坏。

3.5 拌和场

本次工程设有沥青拌合场 14 个,稳定砂砾拌和场 11 个,其中有 7 个沥青拌合场、6 个稳定砂砾拌和场位于多年冻土区。沥青拌合场在操作过程中要放出一定的热量,对近地表的地温有一定影响。由于大气的冷却作用对地下冻土层的影响较小。砂砾料拌和场对冻土层无大的影响。

4 措施及建议

4.1 设计阶段的建议

(1) 在设计阶段要遵循保护冻土的原则,控制热融速率,减轻对冻土的影响。

(2) 提高路基,根据路基临界填土高度确定公路的合理路基高度,就可以最大程度地减轻公路工程对冻土环境的影响破坏。

(3) 路基路面采用隔热材料或浅色的钢纤维水泥混凝土路面,以减少路面对太阳辐射吸收以及向下的传递,减轻公路对冻土环境的破坏。

(4) 加强侧向排水,避免公路两侧产生热融湖塘和冻胀,保护公路两侧的冻土环境。

(5) 料场的选择应遵循以下原则:应在少冰或多冰,地表植被稀少的地点,河滩取土,必须控制在常水位以上,应限制在饱冰、富冰冻土层中取土,严禁在含土冰层中取土。

4.2 施工阶段的环保措施

(1) 取土结束后及时对取土场进行恢复,针对具体条件采取生物措施或工程措施恢复植被和景观,并根据以新带老的原则对老的取土坑进行平整。避免产生热融湖塘、热融滑塌,破坏冻土环境。

原设计的处于极差工程地质路段的 13 个砂砾石料场,建议严格遵循上述取土原则。

(2) 因拌合场对多年冻土环境影响大,建议尽量利用原有拌合场。如设计新的拌合场,应采取隔热措施。

(3) 严格按设计的施工便道进行施工运输,合理安排施工期的道路通行,严防车辆下道破坏冻土环境。

(4) 施工营地应架空设置,施工营地可以充分利用公路的原道班,新设施工营地应架空设置,与地面保持一定距离,使对多年冻土的天然平衡状态的破坏减到最小。

(5) 涵洞施工,采用爆破开挖基坑快速施工技术,减少热量的介入。

4.3 营运期的保护措施——加强对多年冻土的监测

公路工程对冻土环境的影响主要发生在设计和施工阶段,但问题的出现多在营运期。交通载荷量的变化、营运中产生的风险和交通事故对冻土环境的影响一般不大。营运期

(下转第 144 页)

式中:

$$\alpha=2K_0(\frac{1}{L_s^2}+\frac{1}{L_y^2})$$
$$b=\gamma_r-\gamma_w$$
$$c=Q$$

K_0 ——相对隔水岩土体最小抗张强度(MPa); L_x 、 L_y ——地下工程空间的两个互相垂直方向的长度(m); γ_r 、 γ_w ——是相对隔水岩土层和渗透水流的容重(t/m³); Q ——地应力和施工扰动应力的叠加效果(MPa)。

该模型适用于基坑突涌和地下工程流土的临界状态判别,但在完全应用到地下工程流土研究时,没有把方向因素考虑在内,因此只对于底板问题是完全适用的,对于地下井硐的各个不同方向,应在公式左边乘以与角度相关的系数,同时系数“b”和长宽值也应根据角度调整,式中的应力效应值根据不同性质岩土体及地下工程形式、大小、开挖时间长短等都有变化,应以实测结合数值模拟确定^[8]。

4 流土治理方法

从流土的常规模型和耦合模型都可以看出,流土的发生与否,最关键是渗透压力的大小以及所有抗渗因素的组合效果如何。因此,对于流土的防治也是从这两个方面来考虑的,以减小渗透压力、增加抗渗因素或两者结合的形式为主。渗透压力的大小是水力坡度和渗透水流容重的乘积,为了减小渗透压力,可以减小水力坡度或渗透水流容重。与此参考文献:

[1] 杨裕云,杨红刚,吴有才.与地下水作用有关的地质灾害[J].水文地质工程地质,2004,(增刊):1-7.

[2] 李广信,周晓杰.土的渗透破坏及其工程问题[J].工程勘察,2004,(5):10-13.

[3] 何永红,王建明,李粉灵.粗粒土渗透变形机制浅析[J].西北水电,2002,(2):44-46.

[4] 唐益群,施伟华,张先林.关于流土和管涌的试验研究和理论分析[J].上海地质,2003,(1):25-31.

[5] 潘宝国,朱锁成,郑必勇.基坑流土现象实例分析与处理[J].西部探矿工程,2004,(9):41-42.

[6] 杨锦东.深基坑中的渗透变形和防治[J].广东建材,2004,(8):59-60.

[7] 许宝田,阎长虹,李小昭.隧道开挖过程中的渗透变形问题分析——结合南京地区工程实例[J].水文地质工程地质,2002,(2):45-48.

[8] 葛亮涛,叶贵钧,高洪烈.中国煤田水文地质学[M].北京:煤炭工业出版社,2001.281-323.

[9] 李柱和,祝树红,顾雪明.防渗堵漏技术在煤矿建设中的应用[J].建井技术,2000,21(1):18-20.

[10] 姚源道,刘忠义.地下工程堵漏技术[J].建筑技术,1994,21(4):231-234.

[11] 隋旺华,李永涛,李贯田,等.煤矿立井微孔隙岩体注浆防渗及机理分析[J].岩土工程学报,2000,22(2):214-217.

[12] 浦玉炳,吴立人.土工织物在航道堤坝地基防渗工程中的应用[J].水运工程,2002,(8):58-59.

[13] 葛中华.土体裂缝注浆防渗的临界水力梯度及其防渗机理[J].南京大学学报(自然科学),1997,33,(4):571-579.

[14] 钱玉林.筑堤土防渗性状试验研究[J].岩土力学,2004,25(5):824-826.

[15] 钱玉林,严斌,胡唐伯.渗透变形的防治及其工程应用[J].土工基础,2001,15(1):57-60.

(上接第141页)

的主要措施是加强工程对环境影响的监测,在多年冻土区设置气温、地温和活动层监测点,进行长期监测。

参考文献:

[1] 吴青柏,施斌,刘永智.青藏公路沿线多年冻土与公路相互作用研究[J].中国科学,D辑,2002,32(6):514-520.

[2] 刘永智,朱元林,吴青柏.青藏高原多年冻土顶板温度和温度位移预报模型的应用[J].冰川冻土,2002,24(5):614-617.

[3] 刘永智,朱元林,吴青柏.人类工程活动下多年冻土热融蚀敏感性评价模型[J].岩土工程学报,2001,23(6):659-663.

[4] 王绍令.试论青藏高原多年冻土类型的划分[J].干旱区地理,1997,20(3):56.

[5] 吴紫汪,程国栋,朱林楠,等.冻土路基工程[M].兰州:兰州大学出版社,1988.111.

[6] 李树德.青藏公路沿线多年冻土的温度和厚度[A].中国地理学会冰川冻土学术会议论文集(冻土学)[M].北京:科学出版社,1982.7.

[7] 谢应钦.青藏高原多年冻土发育的温度条件[A].见:中国地理学会冰川冻土学术会议论文集(冻土学)[M].北京:科学出版社,1982.1-6.

[8] 王家澄,等.青藏公路沿线的多年冻土[J].地理学报,1979,34(1):18.

[9] 周幼吾,郭东信,邱国庆,等.中国冻土[M].北京:科学出版社,2000.1,115,128,148,301,309.