

青藏铁路多年冻土地段的地质环境和工程地质问题

李永春¹, 鱼海麟², 解宏伟¹ (1. 青海大学水电系, 西宁 810016; 2. 青海建材地质总院, 西宁 810001)

摘要:青藏铁路将通过青藏高原连续多年冻土地区, 高原多年冻土地区发育有特殊的不良地质现象, 如厚层地下冰、热融滑坍、热融沉陷或热融湖(塘)、沼泽化湿地、冰锥、冰丘和爆炸性充水鼓胀、融冻泥流等。如果处理不当, 将对青藏铁路建设带来大量的工程技术难题。

关键词:青藏铁路; 多年冻土; 不良地质现象

中图分类号: P642.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2002)01-0045-04

Abstract: The railway from Ge-ermu to Lasa will cross the area of permafrost with many bad geological problems such as thaw slumping, thaw settlement, aufeis, and so on, which may bring about great many difficulties to Qinghai-Tibet railway construction.

Key words: Qinghai-Tibet railway; permafrost; bad geologic condition

青藏铁路格拉段是西藏连接祖国内地的交通大动脉, 也将是世界上第一条通过高原多年冻土地区的铁路线。青藏铁路北起青海西部重镇格尔木市, 基本沿青藏公路南行, 途经纳尔台、五道梁、沱沱河、雁石坪, 翻越唐古拉山进入西藏境内, 再经安多县、那曲地区、当雄县后, 到达青藏铁路的终点——西藏自治区首府拉萨市。青藏铁路格拉段设计全长 1118km, 由于要通过青藏高原的中心腹地, 沿线人烟稀少、高寒缺氧, 自

然条件极其恶劣。青藏铁路格拉段全线海拔高度大于 4000m 以上的地段达 965km, 要通过的连续多年冻土地段达 550km, 这是青藏铁路建设的两大难题。

1 青藏铁路沿线的地质环境特征

1.1 地形地貌

青藏高原连续多年冻土地区北起昆仑山系, 南到唐古拉山系, 东西方向延伸更长。海拔高度在 4400m 以上, 宏观属高准平原地貌。除昆仑山北坡地势较险峻外, 其余山系多呈穹形起伏, 相对高差一般小于 300m。该区主要山脉有昆仑山、可可西里山、风火山、乌丽山、开心岭、小唐古拉山、唐古拉山、头二九山等,

收稿日期: 2001-03-14; 修订日期: 2001-10-18

作者简介: 李永春(1951-), 男, 教授, 长期从事高校工程地质教学、科研工作。

(5) 衰亡期悬河 当气候长期干燥, 上游来水减少, 而河水向两岸渗透及工农业用水加剧, 将会造成悬河下游长年断流, 悬河演化就进入了衰亡期。如果干旱加剧, 断流河段逐渐向上游延伸, 悬河将会消亡。原河流就成为内陆河, 甚至也会消亡。

当气候进入丰水期, 中上游雨水丰沛, 将会加剧中上游地区的侵蚀、冲刷, 河流输沙量、含沙量将随着增加, 下游悬河淤积加重, 河床进一步抬高, 迫使人类进一步加高堤坝, 进行“河”“堤”赛高, 最终发生水冲堤溃, 河流改道。或者人类自己被迫为河流改道, 悬河消亡。

参考文献:

- [1] 方建华, 谢俊卿, 程生平等. 黄河下游河道改道问题探讨[J]. 水文地质工程地质, 2000, 27(1): 21-23.
- [2] 叶青超. 黄河流域环境演变与水沙运行规律研究

[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1994. 9-17.

- [3] 《黄河水利史述要》编写组. 黄河水利史述要[M]. 北京: 水利出版社, 1982. 3-9.
- [4] 罗国煜, 储同庆, 阎长虹等. 黄河下游悬河稳定性环境地质研究[J]. 地质评论, 1997, 43(4): 441-447.
- [5] 刘传正. 论黄河下游断流问题[J]. 中国区域地质, 1999, 18(4): 418-423.
- [6] 陈秉耀, 穆兴民. 黄河断流的态势、成因与科学对策[J]. 自然资源学报, 2000, 15(1): 31-35.
- [7] 刘昌明, 成立. 黄河干流下游断流的径流序列分析[J]. 地理学报, 2000, 55(3): 257-265.
- [8] 许炯心. 中国不同自然带的河流过程[M]. 北京: 科学出版社, 1996. 84-86.
- [9] 罗国煜. 论两类环境和两类悬河问题的研究[J]. 工程地质学报, 2000, 8(1): 3-6.

编辑: 吴霞芬

山脉大多呈东西走向,山间高平原开阔平坦。昆仑山以北为内陆水系,昆仑山至唐古拉山为长江流域,唐古拉山以南为怒江流域。较大的地表径流有雪水河、昆仑河、楚玛尔河、秀水河、北麓河、卡那玛河、沱沱河、通天河、布曲河、多玛河、安多河等。由此,可将高原连续多年冻土地带划分为高平原地区 and 山岳丘陵地区两大类地貌单元。

1.2 气候植被

本区位于垂直寒带。气候寒冷,最高气温为 23°C 左右,最低气温 $-34^{\circ}\text{C} \sim -41^{\circ}\text{C}$,年平均气温为 $-2^{\circ}\text{C} \sim -7^{\circ}\text{C}$,结冰期一年内长达七、八个月以上。因此,连续多年冻土地带的地温较低,多年地温大部分在 $-1.5^{\circ}\text{C} \sim -5^{\circ}\text{C}$ 左右。青藏铁路沿线的高原连续多年冻土地带的大气降水以固体降水为主,多集中在每年的六、七、八月,年降水量 400mm 左右,并由南向北逐渐减少。

青藏高原连续多年冻土地带由于极端高寒,属“生命禁区”,植物生长季节极短,植被大多属于低矮的针刺状蒿草类植物。沿青藏公路在多年冻土分布的 600km 范围内看不见一棵树木,甚至连生命力极强的低矮灌木都不能生长。

1.3 地质环境

青藏高原多年冻土地带除昆仑山北坡裸露古生代变质岩及沿线有极少的岩浆岩零星分布外,出露地层以中生代的灰岩、泥灰岩、页岩和砂岩等海相沉积为主。

青藏铁路格拉段穿越了在大地构造位置上属于冈底斯板段与唐古松板段的板块缝合带。该地段由于地处板块缝合带,在南部印度板块不断向北推挤运动中,地壳的活动性很强,新构造运动也很强烈。主要表现为新第三纪以来沿断裂带的中基性岩浆喷发活动、张性断裂活动所引起的温泉线状分布和强烈的地震活动。例如在沱沱河—东坝复背斜带北侧的哥曲—扎多—囊谦断裂带至今仍有活动,近期屡有地震发生。又如西大滩—秀沟深断裂,两侧为强烈隆起的高山,断裂带本身为直线状谷地,沿断裂带温泉成群,近代地震频繁发生(中国科学院地质研究所,1978)。

青藏高原属于新构造时期断块性质的强烈上升区,相邻断块间具有不同程度的差异运动。从纳台附近下切很深的河床、温泉附近大量叠置洪积扇等自然现象判断,青藏铁路格拉段沿线的新构造运动很发育,该区地块正在继续缓慢地抬升。

1.4 水文地质环境

青藏高原连续多年冻土区的地下潜水比较发育,

但绝大部分冬季要冻结。在乌丽山等处,还发现了较丰富的承压层间水。青藏铁路沿线,深层泉水和地热温泉都很发育,涌水量较大的有不冻泉、温泉等。大部分泉水的矿化度和水温都较高,如温泉水温达 70°C 。这是由于高原上不同方向的活动性断裂发育,只要具备一定的地貌和水文地质条件,就往往有温泉产生。温泉在唐古拉山分布最集中,青藏公路沿线90道班开心岭附近、103~104道班布曲河断陷盆地两侧以及唐古拉山北侧布曲河支流拜多河谷内均有低、中、高温温泉群,沿NW或NE向断裂呈线状分布,泉眼多分布在上述两组断裂交汇处。

2 青藏铁路沿线不良地质现象的分布与形成

青藏高原多年冻土区常见的不良地质现象有:大面积、厚度很大的厚层地下冰,热融滑坍,热融沉陷或热融湖(塘),沼泽化湿地、冰锥、冰丘和爆炸性充水鼓丘、融冻泥流等(图1)。

2.1 厚层地下冰

青藏铁路沿线的厚层地下冰十分发育,分布在多年冻土上部,几乎遍及含水量较大的粘性土地区。在山岳丘陵区,厚层地下冰呈透镜状分布,可可西里山、风火山、开心岭、唐古拉山、头二九山最发育。一般厚度 $2\sim 4\text{m}$,体积含水量大于 80% ,其中悬浮少量土块,可见层次或隐层理。在高平原地区,厚层地下冰呈互层状。楚玛尔河高平原上的地下冰总厚达 $10\sim 20\text{m}$ 以上,体积含水量约 50% 左右。

厚层地下冰是形成热融滑坍、热融沉陷、热融湖(塘)及造成建筑物变形的基本内因,对铁路建筑物的稳定性有较大的影响。但只要采取适当措施,确保其不融化,还可发挥其工程强度高、完整性好的优势,减轻甚至避免对铁路建筑工程的危害。

2.2 热融滑坍

由于自然营力或人为活动,破坏了有地下冰分布的倾斜坡地的热平衡状态。土体在重力作用下沿融冻界面移动而形成滑坍,称为热融滑坍。大部分热融滑坍都发生在山岳、丘陵区有地下冰分布的地方。在青藏铁路格拉段,以风火山南北坡最为发育。热融滑坍按发展阶段和对工程危害程度,可分为活动性和稳定性热融滑坍两类。稳定性热融滑坍是指由于自埋作用或人为作用,使滑坍范围不再扩大的热融滑坍。否则,称为活动性热融滑坍。热融滑坍多发育在横坡坡度 $3^{\circ}\sim 16^{\circ}$ 的冻土坡地上,按发展阶段可分为新月形和长条形牵引式。

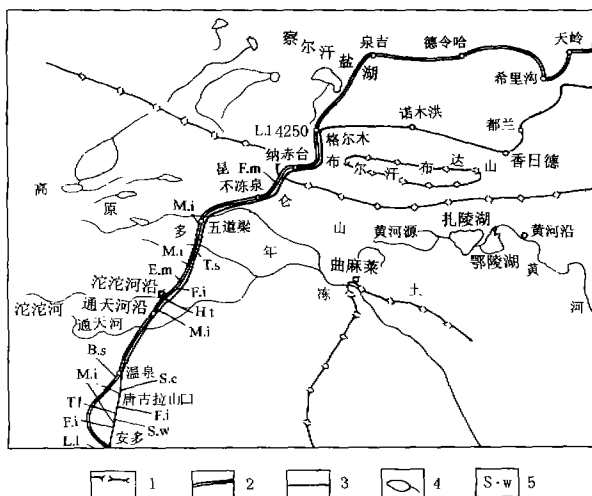


图1 青藏铁路多年冻土区工程地质勘测图

Fig.1 Engineering geological map of permafrost along the Qinghai-Tibet railway

1—多年冻土区边界线;2—铁路定测线路;3—公路;4—河流;5—特殊不良地质现象及其分布点;

B.s—洪积扇群;E.m—爆炸性充水鼓丘;F.i—冰锥;F.m—多年生冰丘;H.t—大河融区;L.l—多年冻土界线;

M.i—厚层地下冰;S.c—雪埋;S.w—沼泽化湿地;T.l—热融湖塘;T.s—热融滑坍;

在连续多年冻土地区发育的热融滑坍可能使建筑物基底或路基边坡失去稳定性,也可能使建筑物被融冻泥物流堵塞或掩埋。据铁道部第一勘察设计院的实地勘察,青藏铁路格拉段沿线的热融滑坍等不良地质现象十分发育,对铁路干线和建筑物危害最大的是长条形牵引式热融滑坍。如发育在风火山主沟附近的一处热融滑坍,60年代初修筑青藏公路时开挖低路堑(堑坡高1m左右),破坏了山坡冻土的热平衡,于是发生了热融滑坍。经连续观测,每年的7月初至9月底热融作用最为显著。五年后,该热融滑坍已发育成为长120m,宽40m的大滑坍体。青藏公路每年夏季均被该滑坍体的融冻泥流掩埋,严重危害着青藏线的运输畅通。

2.3 热融沉陷和热融湖(塘)

由于自然营力或人为活动,破坏了多年冻土的热平衡状态。使地表下沉所形成的凹地,称为热融沉陷;当该凹地积水时称为热融湖(塘)。这种多年冻土地区常见的不良地质现象,多发生于地面坡度小于3°的地

方,大多分布在高平原地区。在青藏铁路沿线的楚玛尔河、多玛河等高平原地区,热融湖(塘)十分发育,这种不良地质现象星罗棋布,设计的交通线路无法避让,是青藏铁路建设必须重视和认真对待的工程地质问题。

2.4 冰锥、冰丘和爆炸性充水鼓丘

冰锥、冰丘和爆炸性充水鼓丘是多年冻土地区与地下水活动有直接关系的特殊不良地质现象。青藏铁路沿线冰锥、冰丘较为发育,类型也很多。经铁道部第一勘察设计院的实地勘察,冰锥、冰丘和爆炸性充水鼓丘等不良地质现象在设计的铁路线上分布的总趋势是:南部比北部多,山岳丘陵地区比高平原地区多,河漫滩比阶地上多,山口附近比山坡上多。具体地段以乌丽山的山间盆地、布曲河谷及安多河谷分布最广,最大密度可达9~10个/km。青藏公路86道班附近,更是冰锥成群,1km长的范围内有大型冰锥6个,小冰锥、冰丘则不胜枚举。青藏铁路多年冻土区沿线的冰锥、冰丘有各种不同类型,常见的类型有有压冰锥、无

压冰锥、冰漫、土冰丘、河冰丘、多年生大型土冰丘及物理现象很奇特的爆炸性充水鼓丘等。

冰锥、冰丘和爆炸性充水鼓丘等不良地质现象对铁路干线和建筑物危害很大,如青藏公路惊仙谷段冰锥,常在冬季堵塞桥孔、掩埋公路。养路工人年年都要筑堤刨冰,费工甚大。开心岭北坡的查曲河及布曲河的许多地段,冬季积冰漫路,常影响青藏公路的正常运营,造成很大的经济损失。

3 青藏铁路沿线地质环境对不良地质现象的影响

3.1 地形地貌与不良地质现象的发育

青藏铁路格拉段要通过的连续多年冻土地段长达550km,铁路沿线海拔高度大于4000m以上的地段为965km。因此,沿线气候极端高寒严酷。地势较高,陡峻的地带,由于地表植被极不发育,寒冻滑塌极其发育。在坡度 $15^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 的山坡地上,覆盖着面积小于50%、厚约0.1m高寒草甸植被,冻融作用使草皮撕裂,为融冻泥流物质的主要供给区。如昆仑山北坡、风火山南北坡等地,地形起伏较大,地势险峻,是热融滑塌和融冻泥流等不良地质现象的集中发育区。热融沉降和热融湖(塘)这些不良地质现象,多发育在地面坡度小于 3° 的高平原地带,如青藏铁路沿线的楚玛尔河、多玛河等高平原地带。

3.2 地层岩性对不良地质现象发育的影响

青藏铁路格拉段要通过的连续多年冻土地段出露地层以中生代的灰岩、泥灰岩、页岩和砂岩等海相沉积为主。昆仑山顶及高原沿河一带还分布有较多的第三系青灰色半岩质岩层,主要是泥灰岩、粘土岩或泥灰岩、粘土岩互层。中生代及中生代以前的基岩由于构造挤压剧烈,岩层产状多陡立,倾角大。而且,因寒冻风化引起的机械破碎作用也很显著。这些中、新生界海相碎屑岩系的岩性本身就比较松散,加之该区域地处板块缝合带,构造运动的多期次性的强烈影响,岩层地质体的完整程度和强度都较差。因此,岩石的透水性 and 含水性均较好,造成了青藏铁路沿线连续多年冻土区的地下水十分发育,大部分是冬季要冻结的潜水。这种地层、岩性和地下水赋存的特殊形式及水文地质条件为厚层地下冰、热融滑塌和冰锥等不良地质现象的发育提供了十分有利的物质基础和赋存空间。

3.3 人类活动对不良地质现象的影响

铁道部第一勘察设计院经多年连续定点观测发

现,冰锥、冰丘和爆炸性充水鼓丘等不良地质现象一般多发育在青藏公路附近的范围内,沿公路线呈线状分布的特征很明显。也就是说,冰锥、冰丘和爆炸性充水鼓丘等不良地质现象多发生在人为破坏多年冻土区的热平衡之后。据调查,不良地质现象一般多为青藏公路筑路开挖后形成。因此,在青藏铁路格拉段设计和建设时,一定要预防筑路后由于新冻土核的形成而改变地下水和水文地质条件,在铁路路基上方出现新生冰锥、冰丘的潜在危害。

3.4 不良地质条件的动态变化

全球性气候变暖、气温升高,已有大量证据证明该趋势造成了高原上的冰川退缩、雪线上升和湖泊萎缩(施雅风,1990),这一全球性气候变化趋势势必影响到高原连续多年冻土地区的热平衡与水文地质条件。作者之一相隔10a两次沿青藏公路线进行地质考察时发现的一个现象值得注意。1987年7月在青藏公路惊仙谷路段道班旁发现一大型冰锥,距青藏公路仅十多米,该冰锥高约3~4m,长约16m左右,冰锥已消融了一段时间,内部仅存少量泥浆。1997年5月作者第二次经过此处,该冰锥已踪影皆无。上述现象说明了高原连续多年冻土地区的热平衡与水文地质条件是一种动态变化过程,不良地质现象也会随着多年冻土热平衡的动态变化而有所改变。这个问题在青藏铁路修建中应引起工程地质人员足够的重视。

参考文献:

- [1] 贾士涛.黄土地区铁路工程的地质问题[J].中国第四纪研究,1980,5(1):57-61.
- [2] 徐叔虞,张林源.应用地貌法探讨唐古拉山地区隆升的时代与幅度[A].青藏高原隆起的时代、幅度和形式问题[C].北京:科学出版社,1981.
- [3] 《青海省综合自然区划》编写组.青海省综合自然区划[M].兰州:兰州大学出版社,1989.
- [4] 施雅风.山地冰川与湖泊萎缩所指示的亚洲中部气候干暖化趋势与未来展望[J].地理学报,1990,45(1):1-12.
- [5] 胡海海,阎树彬.青藏公路沿线(格尔木-安多)的区域工程地质特征[A].青藏高原地质文集(五)[C].北京:地质出版社,1982.
- [6] 吴青柏,米海珍.青藏公路多年冻土路段冻土过程的变化和控制建议[J].水文地质工程地质,2000,27(2):14-17.

编辑:张明霞