

文章编号: 0451-0712(2006)01-0085-04

中图分类号: U416.1

文献标识码: A

# 青藏公路路基纵向裂缝病害及其发生规律

代寒松<sup>1</sup>, 盛煜<sup>2</sup>, 陈继<sup>2</sup>

(1. 武警交通第一支队 格尔木市 816000; 2. 中科院寒区旱区环境与工程研究所冻土工程国家重点实验室 兰州市 730000)

**摘 要:** 路基裂缝病害是青藏公路上继沉降以后的第二大类型路基病害, 此种类型的病害与公路左右两侧的太阳辐射差异密切相关。病害统计结果表明, 发生在阳侧的路基纵向裂缝有 22.5 条, 占总裂缝条数的 70.0%, 占路基纵向裂缝总长度的 65.0%; 其次, 从病害发生路段的道路走向来看, 路基纵向裂缝病害主要发生在走向为 S90°、WS60°、WS30°、EW0° 和 ES60° 的路段, 在走向为 ES30° 的路段上仅发生 1 条路基纵向裂缝。路基纵向裂缝与走向间的这一关系主要与高原上特殊的太阳辐射日变化规律和青藏公路主体走向有关。

**关键词:** 路基纵向裂缝; 路基走向; 太阳辐射

## 1 青藏公路路基纵向裂缝病害现状

根据长安大学窦明健<sup>[1,2]</sup>等人在 1997 年 8 月至 1998 年 10 月的调查资料, 在此期间共发现路基纵向裂缝 46 条, 而在 1999 年 5 月做补充调查时, 不但裂缝规模加剧, 路基纵向裂缝的条数也已增至 79 条。在其后, 虽然对路基纵向裂缝进行了治理, 但是新的裂缝仍然在不断发生。在 2001 年调查时, 缝宽大于

300 mm 的裂缝就达到 12 处, 受纵向裂缝破坏路段的里程累计达到 109 km, 仅次于路基的沉陷病害 (117 km)。根据 109 国道清水河段公路路基裂缝调查资料, 曲线地段阳坡高路堤沉降变形差异严重, 错台高度达 50 cm。另外, 裂缝的深度也比较深。在沿线用钢钎探出了深达 2.2 m 的裂缝, 而雷达普查则探出了深达 5~6 m 的纵向裂缝。2001 年, 中科院寒

基金项目: 西部交通建设科技项目 (合同号: 2002 318 795 02)

收稿日期: 2005-08-05

上, 紧紧抓住了地下水这一边坡失稳的主要原因, 采用长距离水平排水滤管引水、排水, 并且在施工方法上进行了创新。依据不同地质情况更换钻头, 并充分利用工程地质特点, 采用水洗与气冲并用的方法, 取得了良好的效果。由此使坡体管网渗漏系统得到恢复, 地下水位下降, 坡体稳定性极大提高。整个处治过程对高速公路正常营运基本没有影响, 保证了高速公路安全畅通。本方案不仅经济合理, 而且安全可靠, 适应多种复杂地形, 具有较高的推广和应用价值。

(3) 由于镀锌钢管需逐节接长, 突出的束节改变了钢管外表面的整体平滑, 影响进管, 且钢管具有一定的使用寿命, 若处于腐蚀性的地下水中, 更加不适用。新型建材中的 PVC 管强度高, 在地下使用寿命长, 长度也可以根据工程需要而定, 便于施工, 实际应用中可用多孔 PVC 管作为排水滤管替代钢管。

(4) 滑坡灾害的防治工程是一项系统工程, 坚持

“以防为主, 避让与治理相结合”的原则, 正确处理防与治的关系, 综合运用多种治理措施, 科学选择治理方案, 才能从根本上防治好地质灾害。本方案在顺利做好排水的同时, 也需及时进行有效的竣工后监测, 加强安全巡查, 确保问题及时发现、及时处理、及早排除。

## 参考文献:

- [1] 王洲平. 浙江省地质灾害现状及防治措施[J]. 灾害学, 2001, 16(4).
- [2] 张作辰. 滑坡地下水作用研究与防治工程实践[J]. 工程地质学报, 1996, 4(4).
- [3] 殷坤龙, 汪洋, 唐仲华. 降雨对滑坡的作用机理及动态模拟研究[J]. 地质科技情报, 2002, 21(1).
- [4] 尚岳全, 等. 管网渗流系统对含碎石粘性土边坡的稳定作用[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(8).
- [5] 孙红月, 尚岳全, 龚晓南. 工程措施影响滑坡地下水动态的数值模拟研究[J]. 工程地质学报, 2004, 12(4).



区旱区环境与工程研究所冻土工程国家重点实验室会同中交第一公路勘察设计研究院对青藏公路沿线多年冻土段的病害进行了全面调查,调查结果表明:发生严重路基纵向裂缝破坏的路段达到 52.4 km,最大裂缝宽度达到了 500 mm。

青藏公路沿线的路基纵向裂缝病害已非常严重,极大影响了公路的运营安全,有必要探明裂缝的分布规律。下面将依据 2001 年的青藏公路路基病害调查结果,从辐射的角度给出青藏公路路基纵向裂缝的发生规律,并就产生这一现象的原因给出自己的认识。

## 2 路基两侧热状况的差异及其对路基纵向裂缝在横断面上分布位置的影响

路基纵向裂缝主要是由于路基的横向不均匀沉降造成的,因此,只有充分了解路基横向不均匀沉降的形成机理,才可以对路基纵向裂缝的形成原因进行正确分析。在多年冻土地区,路基下富含冰冻土的融化,往往会导致路基的不均匀沉降和路面的不均匀变形。天然条件下,冻土处于相对的热稳定和平衡状态,多年冻土的上限和活动层的厚度在年际之间变化较小。根据对青藏公路沿线冻土中富含冰冻土分布位置的分析可以知道,富含冰的土层一般都位于多年冻土上限以下 0.5~3.0 m 的位置。因此,天然条件下冻土上限的年际变化不会影响到富含冰土层,因此也就不会引起天然地面标高的明显变化。但是在多年冻土上修筑路基以后,如果没有采取有效的保护冻土措施,路基下的富含冰土层往往会发生融化,结果导致路基的沉降。如果所修筑的路基对其下多年冻土的热扰动程度是一样的,并且其下多年冻土的特征在平面上是均匀的,那么这种热扰动所引起的路基沉降也将是均匀的。从路基纵向的角度来看,由于沿线穿越的多年冻土类型多种多样,且路基的断面形式也不尽相同,因此,沿着公路路基的纵向发生不均匀沉降很容易理解。

虽然路基的横向冻土特征也会发生变化,但是和路基的纵向长度相比,冻土在路基宽度方向的变化基本可以忽略不计。

在分析的过程中,路基下冻土层在横向上的分布就可以认为是均一的。由上一段的内容可知,路基横向发生的不均匀沉降就是由于路基对其下多年冻土的热扰动程度不同引起的,在路基纵向较长范围内的类似不均匀沉降就有可能形成路基纵向裂缝。

对于填土路基而言,路基填料的含水量较小,因此其热容量也较小,对路基下富含冰土层的热扰动也较小,即使路基两侧的填土高度不同,对路基下富含冰土层的热扰动程度也不会有显著的不同。除了路基自身填土的热容量影响以外,路基下的地热流、路基两侧的地表径流和浅层径流、路基边坡面与大气的热交换、两侧坡面的受辐射条件也会影响到路基下冻土层的温度状况。同样处于分析尺度的因素,地热流的影响忽略不计;地表径流和浅层径流虽然可以对路基两侧的热量平衡产生重要影响,但是其影响范围有限,并不是一个能够影响全路段的因素;路基两侧的边坡面从气象学下垫面的角度来看,坡面性状类似,不会引起路基两侧热状况的显著差异。与上述因素不同,辐射因素对路基和其下多年冻土的扰动贯穿青藏公路全部多年冻土路段,并且坡面受辐射的影响程度与边坡的坡度、坡向有密切关系。

青藏公路多年冻土段平均海拔在 4 000 m 以上,空气密度小、大气层较薄,因而大气的透明度较大,再加上纬度较低,使得该地区成为全国总辐射量最多的地区之一,年总辐射量达到了 7 000~9 000 MJ/m<sup>2</sup> 左右,而纬度相近的东部地区的年总辐射量仅在 6 000~7 000 MJ/m<sup>2</sup> 左右波动。

太阳辐射对地表的温度状况有重要影响,地表接收的太阳辐射越多,地表温度就越高。对于青藏公路沿线的多年冻土地区而言,如此强的太阳辐射对多年冻土温度场的影响势必更加显著,处于阳坡坡下的多年冻土比阴坡更容易融化,结果阳坡一侧的路基就会由于多年冻土的融化发生大于阴坡的融化变形量,在阴阳坡间形成不均匀沉降,这种左右边坡间的不均匀沉降最终可能导致路基在阳坡产生纵向裂缝。根据王铁行的研究<sup>[3]</sup>,坡面接受到的太阳辐射量为:

$$Q_p = \epsilon \cdot Q_h$$

式中:  $\epsilon$  为坡面系数;  $Q_p$  为坡面每平方米接受到的太阳辐射量;  $Q_h$  为水平面每平方米接受到的太阳辐射量。

路基边坡为一斜面,其单位面积受到的太阳辐射量不仅与路基边坡角  $\alpha$  (边坡与水平面夹角) 及坡向(走向)有关,也与太阳高度角  $\beta$ 、太阳方位角  $\theta$  有关。此处假设路基的走向为  $\delta$  (大小为路基走向与东西方向的夹角,取值范围为  $(0, 90)$ , 最大走向为南北走向,此时为  $90^\circ$ ), 那么路基 2 个坡面的坡面系数计算公式分别为:

$$\epsilon = (\cot \alpha - \cot \beta \cdot |\cos(\delta - \theta)|) \cdot \sin \alpha \quad (\text{阴坡面})$$



$$\varepsilon = (\cot\alpha + \cot\beta \cdot |\cos(\delta - \theta)|) \cdot \sin\alpha \quad (\text{阳坡面})$$

应用此公式要注意2点:(1)以坡顶线所在竖直面为准,太阳所在的那个坡为阳坡,否则为阴坡;(2)坡面系数不应为负,最小值为0。

从上面的公式可见,阳坡面的太阳辐射量大于阴坡。但是,从说明(1)看出,阳坡面并不是一个固定的坡面,而是与太阳的方位角有关。对于近于东西走向的路基而言,阳坡为南坡,阴坡为北坡,这一点很容易理解,但是对于走向较大的路基而言(路基走向接近 $90^\circ$ ),则很难判断左右边坡中哪一个是阳坡、哪一个是阴坡。而且青藏高原的辐射具有明显的不对称性,对沿线几个观测站辐射资料的分析表明,公路沿线上午的辐射总量要比下午的辐射总量最少大20%以上,这又增加了对阴阳坡判断的难度。为了便于分析路基纵向裂缝与阴阳坡之间的关系,对于走向在 $ES75^\circ \sim WS75^\circ$ 之间的路基,对左右边坡不划分阴阳坡;对于走向在 $ES0^\circ \sim ES75^\circ$ 间的路基,西南坡为阳坡,东北坡为阴坡;对于走向在 $WS0^\circ \sim WS75^\circ$ 之间的路基,东南坡为阳坡,西北坡为阴坡。根据这一标准,对发生在青藏公路多年冻土段的路基纵向裂缝分布位置进行了统计分析。统计结果表明:发生在向阳侧的路基纵向裂缝有22.5条,占总裂缝条数的70.0%;发生在背阴侧的路基纵向裂缝有9.5条,占总裂缝条数的30.0%。按照路基纵向裂缝的总长度来分析,向阳侧的裂缝有97 km,占总长度的65.0%;背阴侧的裂缝有53 km,占总长度的35.0%。上述统计结果包括了多年冻土融区中的裂缝,在排除融区裂缝以后,发生于路基向阳侧的裂缝条数占总条数的78.0%,而阳侧裂缝总长度占到了全部裂缝长度的74.7%以上,这再一次证实了太阳辐射在地表热平衡中的重要作用,也从侧面说明多年冻土地区的工程建筑物需要充分考虑建筑物表面接受太阳辐射的差异。

### 3 青藏公路路基纵向裂缝与路基走向间的关系

上面分析了路基纵向裂缝在路基横断面上的分布规律,另外,路基纵向裂缝的发生还与路基走向有关。如果因为路基的走向因素使得路基两侧边坡接受的辐射量比较接近,那么路基两侧的坡面和下伏冻土的温度状况也将是相似的,因此路基在横断面上的变形就比较均匀,不易形成纵向裂缝;相反,如果因为路基走向的因素使得路基两侧边坡的辐射条件差异较大,那么就更容易在辐射条件较好的阳坡发

生纵向裂缝。根据对青藏公路多年冻土段沿线公路路基纵向裂缝与路基走向关系的分析,绘制了路基走向与裂缝发生频率的玫瑰图(图1)。

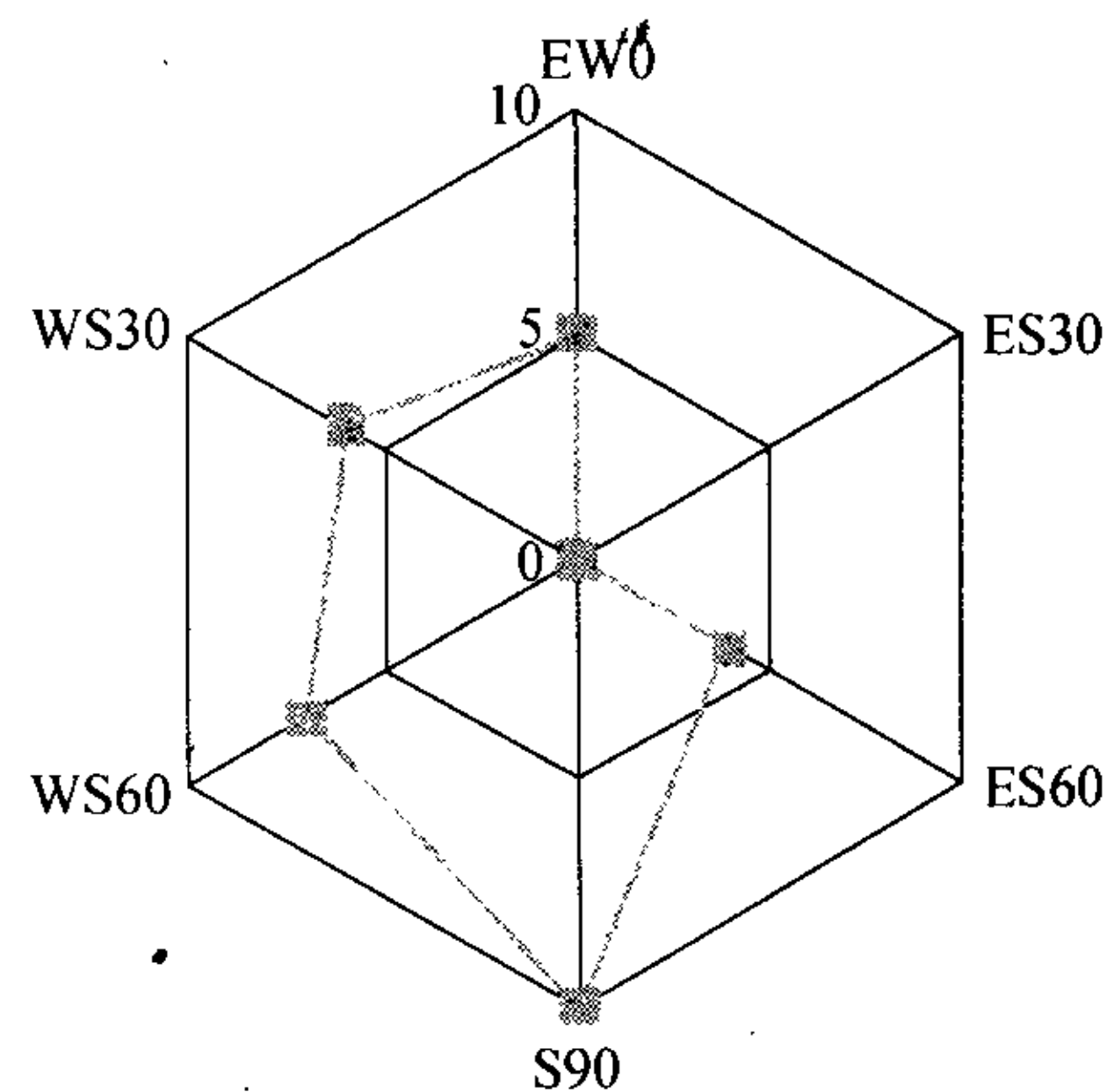


图1 路基走向与路基裂缝玫瑰图

图1中,EW0表示路基走向为东西,ES30、ES60分别表示路基走向为东偏南 $30^\circ$ 和 $60^\circ$ ,SW90表示路基走向为南北方向,WS30、WS60分别表示路基走向为西偏南 $30^\circ$ 和 $60^\circ$ ,半径长短表示裂缝发生的频率大小。从图1可以看出,发生在走向为EW0、ES60、SW90、WS30、WS60路基上的裂缝条数比较接近,变化在4~7条之间;发生在走向为S90路基上的裂缝条数最多,达到9条;发生在ES30路基上的病害较少,仅为1条,这可能与走向为东偏南 $30^\circ$ 路基的长度较短有关(主要分布在唐古拉山北坡,约20 km)。在接近南北走向的路基上之所以产生裂缝的条数最多,这可能有2个原因:(1)青藏公路主体为近南北方向,因此近于南北走向的路基最长;(2)青藏公路沿线特殊的辐射日变化规律。根据相关的研究结果,在青藏公路沿线,上午的总辐射明显大于下午的总辐射。根据青藏公路D66道班、沱沱河站、D110道班、安多气象站和青藏公路K3608处的辐射资料,各站上午的总辐射比下午的总辐射分别大16.2%、22.1%、51.2%、40.4%和40.2%。

上述青藏公路路基纵向裂缝与路基走向和路基边坡坡向之间的关系表明,在多年冻土地地区筑路,需要采取一些积极的工程措施来消除路基走向和坡向差异带来的不利影响,否则,就有可能产生类似的纵向裂缝破坏。

### 4 结论及建议

青藏公路路基纵向裂缝病害是仅次于路基沉陷病害的第二大类型路基病害,急需加强对此类病



害的机理与防治技术研究。路基纵向裂缝病害与太阳辐射密切相关,发生在路基向阳侧的裂缝病害为22.5条,占总裂缝条数的70.0%,占路基纵向裂缝总长度的65.0%,向阳侧病害率高于背阴侧病害率;从发生纵向裂缝病害路段的走向来看,南北走向的病害次数最高,这不仅与青藏公路主体走向呈南北向有关,也与高原上强烈的太阳辐射以及上午大、下午小的特殊的辐射日变化规律有关。笔者建议从减小太阳辐射角度来防治路基纵向裂缝,可以在路基纵向裂缝严重的路段铺设遮阳板或者在两侧边坡喷

涂太阳热反射材料。

### 参考文献:

- [1] 窦明健,等. 青藏公路路面病害成因分析[J]. 冰川冻土,2003,25(4).
- [2] 窦明健,等. 青藏公路多年冻土段路基病害分布规律[J]. 冰川冻土,2002,24(6).
- [3] 王铁行,窦明健. 多年冻土地地区路堤热差异分析[J]. 煤田与地质,2004,32(1).

# Longitudinal Roadbed Cracks in Qinghai-Tibet Highway And Its Forming Regularity

**DAI Han-song<sup>1</sup>, SHENG Yu<sup>2</sup>, CHEN Ji<sup>2</sup>**

(1. First Branch of Armed Police for Traffic, Golmd 816000, China; 2. CAREERI-SKLFSE, CAS, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** Apart from roadbed settlement, longitudinal-cracks are the primary type of disease of Qinghai-Tibet Highway. This kind of disease has a close relation with differences of the solar radiation between both slopes of the highway. The statistic about longitudinal-cracks present that 22.5 pieces of cracks are happened in the sunny side, which account for 70.0% of total cracks and 65.0% of total lengths of cracks. Furthermore, from the view of road-trend, longitudinal cracks mainly happen in the section with road-trend equal to S90°, WS60°, WS30°, EW0° and ES60°. In the section with road-trend equal to ES30°, one place of longitudinal cracks is happened only. The special relation between roadbed longitudinal cracks and road-trend is connected with the unusual diurnal variety of solar radiation and the principal trend of Qinghai-Tibet Highway.

**Key words:** longitudinal roadbed crack; road-trend; solar radiation



## 内蒙古东苏高速公路试运营

2005年11月23日,内蒙古东(胜)苏(家河畔)高速公路通车试运营,昔日艰难的“走西口”成为历史。东苏高速公路的通车标志着国道210线内蒙古境内186.78 km全部实现高速化。

东苏高速公路起点位于东胜北互通立交桥,与包东高速公路相接,自北向南经白彦门肯、阿镇、新街,止于蒙陕交界苏家河畔,全长 95.78 km,双向四车道,设计行车速度 100 km/h,总投资约 18 亿元。东苏高速公路是“五纵七横”国道主干线其中的“一纵”——国道 210 线包头至北海公路在内蒙古境内的一段,也是内蒙古公路网“三横九纵十二出口”主骨架中的重要“一纵”,西通西北和西南地区。

百年“西口”通高速,“羊煤土气”运出来。东苏高速公路将沿线工业基地、大中城市、农村牧区相连通,有利于形成以“包头—鄂尔多斯—西安”为轴心的新型区域性经济走廊,为包头的钢铁、稀土、鄂尔多斯的煤炭、天然气、化工产品、绒毛等物资运输提供了便捷的交通条件,将资源优势转化为经济优势,对发展内蒙古中西部地区的经济具有重要意义。