

文章编号: 0451-0712(2005)12-0199-04

中图分类号: U418.5+2

文献标识码: B

高速公路路堑边坡稳定性分析和整治方法研究

王海亮

(内蒙古老集高速公路建设管理办公室 集宁市 010020)

摘 要: 以老集高速公路 K320+160~K320+980 段高边坡病害治理为例,分析了边坡失稳的原因,介绍了防水、固结和支挡锚固相结合的综合治理方法。

关键词: 路堑边坡; 膨胀土; 结构面; 固结灌浆; 锚固

内蒙古老集高速公路是丹东至拉萨国道主干线在内蒙古自治区境内的重要路段,东起内蒙古自治区与河北省交界处老爷庙,西止于内蒙古乌兰察布中心城市集宁市,全长 89.338 km,为双向四车道全封闭、全立交,一次性修建的全幅高速公路。设计行车速度为 100 km/h,路基宽度 26 m。

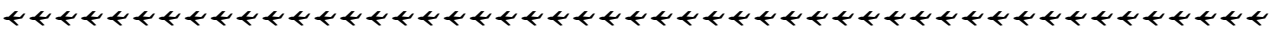
老集高速公路穿越低山缓丘区,沿线工程地质条件十分复杂。其中 K320+160~K320+980 段为典型火山熔岩台地,地质构造发育,岩石破碎严重,加之干燥多风、少雨且降雨集中的气候特点,新挖路堑边坡经常出现风化剥落掉石、坡面溜坍现象,局部

出现坡体坍滑病害,以致下部堵塞线路,上部出现了贯通裂缝,直接危及到坡顶国家主干光缆的安全,严重影响了工程进度和质量。通过深入分析研究各种影响边坡稳定性的因素,查清敏感因素,制定合理整治方案,并通过工程实践,较圆满地解决了该段路堑边坡病害问题。

1 影响路堑边坡稳定的因素

K320+160~K320+980 路段山坡自然坡度为 12°~15°。开挖路堑后形成了坡面坡度 32°~45°,高约 20~28 m 的新边坡;同时,开挖路堑使坡体横

收稿日期:2005-08-17



率的增加而增大,表明旧料的加入有助于提高混合料的高温稳定性。

(2)混合沥青结合料的疲劳因子随着旧料掺配率的增加而增大,但在低掺量的情况下,疲劳因子的增长速度较慢,在实际生产中,旧料的掺配率常在 40% 以下,选取合适的新沥青结合料,完全可以控制疲劳因子在 5 MPa 以内。

(3)随着旧料掺配率的增加,混合沥青结合料的蠕变劲度模量也随之增加,而蠕变速率 m 随之减小。旧料掺配率对提高结合料的蠕变劲度模量的作用是有限的,因此若采用严格的控制措施,选取合适的新沥青,是完全可以 将蠕变劲度模量和蠕变速率 m 控制在满意的程度范围内。

沥青结合料和骨料的性质对整个沥青混合料的性质起决定性的作用,光从结合料的性质还不能完全推断出整个混合料的性质,应筑高质量的再生沥青混凝土路面还需要广大的路面工作者付出不懈的

努力。

参考文献:

- [1] JTJ 052-2000,公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].
- [2] 张登良. 沥青与沥青混合料[M]. 北京:人民交通出版社,1993.
- [3] JTJ 014-97,公路沥青路面设计规范[S].
- [4] 郭忠印. 沥青路面施工与养护技术[M]. 北京:人民交通出版社,2003.
- [5] 吕伟民. 沥青路面再生技术[M]. 北京:人民交通出版社,1989.
- [6] Ray Brown, Larry Michale. Superpave mixture design guide [R]. Federal Highway Administration-RD-01,2001.
- [7] Chris A Bell. Aging: binder validation [R]. ISBN 0-309-05802-3 contract no. A-003A product nos. 1003 and 1030, 1994.

向支撑解除,彻底破坏了原山体应力场平衡,引起坡体应力重新调整。其变化与调整引起边坡变形并松弛。

1.1 边坡应力变化影响

(1)由于坡体应力重新调整分布,边坡周围主应力迹线发生明显偏转,无论是重力场条件还是其他水平应力场条件,由于应力重新分布,在临空面下部形成剪应力集中带。坡脚附近最大应力显著增大,最小主应力显著降低,因此极易发生变形和破坏。

(2)路堑开挖引起应力变化在堑顶附近形成张应力集中带,受拉后形成与坡面近于平行的拉裂缝。

(3)主应力迹线偏转,坡体内最大剪应力迹线由原生直线变为圆弧形。弧形下凹面指向临空面。

(4)坡面开挖后由于径向压力实际为零,坡体实际处于近似单向受力状态,向坡体内方渐变为三向应力状态。

1.2 原始应力状态影响

(1)坡体原始应力状态中以水平剩余应力对坡体的应力状态影响最大,它改变了主应力迹线分布形式,也改变了各应力值大小,尤其是在坡角剪应力集中区和堑顶拉张应力集中带。当有原始切向水平应力时,坡角切向剪应力会成倍增大,这是本路段新开挖边坡应力不平衡发展的变形过程,也是边坡失稳原因。

(2)堑顶张应力带出现,除极陡的斜坡外,主要与切向水平应力有关。路堑开挖切割了坡角,切断了

原山坡的延续,使横向约束失去,必然使原切向水平应力得以显现。结果是,原坡顶出现张裂缝;原来裂缝少且小,现在则增多增大。这是本路段路堑边坡顶部发生开裂的力学原因。

(3)三维应力计算结果表明,最大的拉应力出现在高坡的2/3坡高处。本工程坡顶裂缝位置与计算结果是相吻合的。坡高虽不改变应力等值线图像,但坡体内各处的应力值则随坡高增长而增大。故,根据这样的计算结果对边坡进行预应力支挡加固应达到坡高的2/3高度。

(4)坡角对应力分布影响显著,它影响应力分布关系。坡角变陡,张力带范围扩大;坡脚剪应力集中带剪应力亦增大。因此开挖路堑边坡坡角的设计对边坡稳定是十分重要的。本工程开挖坡角 $32^{\circ}\sim 45^{\circ}$,笔者认为宜采用 $28^{\circ}\sim 32^{\circ}$,即放缓坡度,对边坡稳定有利。

1.3 岩(土)体特性对路堑边坡的影响

1.3.1 土体影响

K320+160~K320+980 路段边坡出露的土体为玄武岩风化形成的膨胀土。膨胀土成带状分布在断层破碎带和呈薄板状存在于风化裂缝中。

玄武岩是一种基性喷出岩,在特定条件下沿裂缝和破碎带强烈风化发生绿泥石化、高岭土化、绢云母和泥化, Fe^{3+} 铁离子析出,使土坡呈现出棕红色。经过分析,本路段膨胀土中含强亲水蒙脱石高达20%~30%,从而使土体具有显著膨胀性和高膨胀率。表1是本工程所取膨胀土各项性能指标。

表 1

天然含水率 W %	密度		孔隙比 e	液限 W_L	塑限 W_P	自由膨胀率	$<2\mu\text{m}$ 颗粒含量/%	50 kPa 压力下膨胀率	缩限/%	收缩系数 λ_s	膨胀力/kPa	线胀率	体胀率	总膨胀率/%
	湿 g/cm^3	干 g/cm^3		%	%	%		%				%	%	
15.9	2.04	1.78	0.534	25.4	18.7	54.4	43.1	4.4	13.2	0.532	42	4.7	18.8	2.9~3.3

(1)土体干密度影响。

根据图1,当膨胀土干密度 $>1.7\text{ g}/\text{cm}^3$ 时,其吸水膨胀时可产生很高的膨胀力,经过试验,本场地膨胀土天然状态下膨胀力可达90~200 kPa。

(2)天然含水量影响。

K320+160~K320+980 路段所在地域气候干燥,年蒸发量2 037~2 180 mm,而年降雨量仅为379~419 mm,这种气候条件使得坡体土层自然含水量很低,实测为15.3%。试验测得土缩限含水量为13.2%,二者相差2.1%。这一数据表明土体在很低的含水量情况下即可发生体积膨胀,其膨胀潜势很

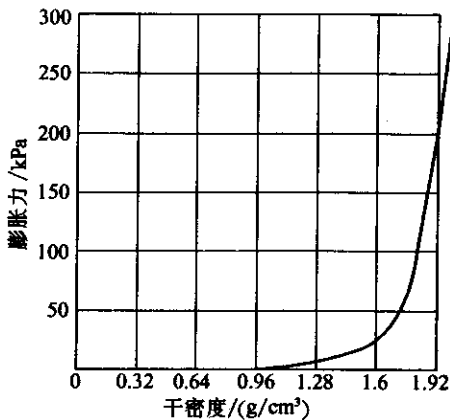


图 1 膨胀土密度与膨胀力关系

大。遇水总膨胀率 δ_{ePs} 可以通过公式(1)进行计算。

$$\delta_{ePs} = \delta_{ePi} + \lambda_s \cdot \Delta\tau_w \tag{1}$$

式中： δ_{ePs} 为在压力 P_i 下的膨胀率； λ_s 为收缩系数； $\Delta\tau_w$ 为相对缩限含水量增量。

公式(1)表示，坡面开挖未经支挡时，最小主应力为零，等号右第一项则为最大值；当降雨多、时间长、土层吸入水量多，则膨胀量亦大。因此土体总膨胀率很大，表明边坡失稳与降雨关系最为密切。大多数边坡失稳事故均出现在雨期足以证明这一论断。

1.3.2 岩层影响

K320+160~K320+980 路段路堑高边坡岩层为基性喷出玄武岩，呈黑灰色~红褐色。主要造岩矿物为橄榄石、辉石、基性斜长石、黑云母等，呈斑状—隐晶质结构，杏仁状气孔构造，柱状节理发育。由于柱状节理发育，极易沿节理裂隙强风化解体破碎，完整性遭到破坏，工程性能显著降低，常发生坠落和溜坍与局部滑坡。

1.3.3 地质构造与Ⅲ、Ⅳ级结构面

(1)断裂构造。

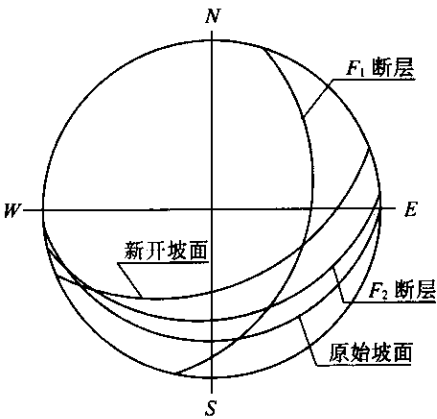
本路段边坡有两组断层，断层宽 0.5~6.0 m，延长 350~1 500 m，断层不仅切割玄武岩，控制边坡岩体稳定性，而且沿断层发生强烈风化，形成与断层产状一致的膨胀土体，断层为本区Ⅲ级结构面，与Ⅰ、Ⅱ级结构面组合形成不同规模的块体破坏。

(2)节理影响。

路堑边坡玄武岩除原生柱状节理发育外，尚有因地质构造形成的构造次生节理以及坡顶卸荷张性裂隙与风化裂隙。根据工程地质测绘和节理统计，其中一组顺坡向节理最为发育，发育的次生构造节理进一步破坏了岩体完整性，构成Ⅳ级结构面与Ⅲ级结构面组合形成不同类型破坏模式，使路堑边坡成为不稳定斜坡。图2是断层(Ⅲ级)结构面与坡面组合分析赤平投影。两组结构面组合交线倾向与坡面一致，组合交线的倾角小于坡面倾角，表现为不稳定结构。节理是大气及水的通道，也是最易风化的自由面，节理发育，风化则强烈，岩质边坡不易稳定。

1.4 气象因素影响

老集高速公路所在地区为典型干旱半干旱大陆性气候。冬季寒冷，夏季干热，春季风多，昼夜温差大，属季节性冰冻地区。年平均气温为 4.2℃，极端最高气温为 36℃，极端最低气温为 -33.8℃，年均降水量 380 mm，年均蒸发量 2 037 mm，降水量少且集中于 6、7、8 三个月，冰冻期为 11 月~次年 3 月份，



1. F_1 、 F_2 组合对原始坡面为稳定结构；
2. F_1 、 F_2 组合对新开坡面为不稳定结构。
图2 结构面组合稳定性判断赤平投影

最大冻深 191 cm，平均风速 5 m/s，最大风速 33 m/s，风向以西北风为主，最大积雪厚度 21 cm。

其中以降雨量对路堑边坡影响最为明显。少雨，土层干燥，自然状态下土壤含水量很低(15.2%)，接近土的缩限值，表明只需很小的水量即可使土层产生较大膨胀，集中降雨则使土层在短期大量吸水，不仅可产生很大的总膨胀率，同时增大土层饱和度，降低土体抗剪强度从而产生滑动变形。因此，水是边坡失稳最为敏感的因素。

2 边坡病害治理

2.1 不稳定边坡治理一般方法

目前在工程中对不稳定的边坡治理常采用削坡减载、疏干排水、截水防渗、植物固土、工程支挡、锚固等措施。具体到某一工程项目，视导致边坡不稳定因素对症施治。

2.2 本工程边坡失稳治理方案

2.2.1 防水

防水包括防地表水入渗和坡体内裂隙水外排疏干。具体工程措施如下。

(1)截水沟。

距坡口线 5 m 以外，沿坡顶修截水沟，防止坡顶山坡地表水进入边坡土体；在路侧坡脚处修筑纵向截水沟，防止坡面地表水进入路基本体。

(2)排水孔。

在坡脚处布置仰斜排水孔，疏排坡体内的地下水，减小滑坡土体重度，降低下滑推力，提高滑带土抗剪强度，有利阻滑。

(3)坡面防渗。

坡面防渗包括表面喷射混凝土防渗和干砌块石下设反滤层以及反滤层下设防渗土工膜。喷射混凝土还具有防止岩石风化、固结破碎岩石和堵塞坡面岩石裂隙、隔绝水进入膨胀土的功能,对稳定边坡有良好效果。

2.2.2 注浆固结

注浆固结可提高岩体完整性和工程性能,在钻锚杆(索)孔时,进行固结灌浆以及锚固体、自由段灌浆对碎裂结构的岩体有显著的稳定作用。不仅使岩石整体性、强度提高了,同时因注浆堵塞了裂隙,可有效地防水、防土膨胀、防风化。

注浆是通过锚索(杆)钻孔工序兼顾进行的。

2.2.3 支挡锚固

本路段路堑边坡采用预应力锚索地梁组合结构,对边坡进行支挡锚固。设计时考虑到岩体浅部破碎、坡顶张裂缝和光缆同时存在的因素,加大自由段长度至 24 m,将锚固段深入到稳定坚固的岩层中 12 m,以确保边坡的稳定性。在进行锚索设计计算时,除考虑到滑坡体下滑力、阻滑力以外,还考虑计算膨胀土最大膨胀力的影响。

通过对锚索地梁施加预应力,主动压紧坡面松散层,锚索地梁间设置六棱空心砖块,植草绿化,既稳定了坡体,又美化了环境。

2.3 综合治理方案(见图 3)。

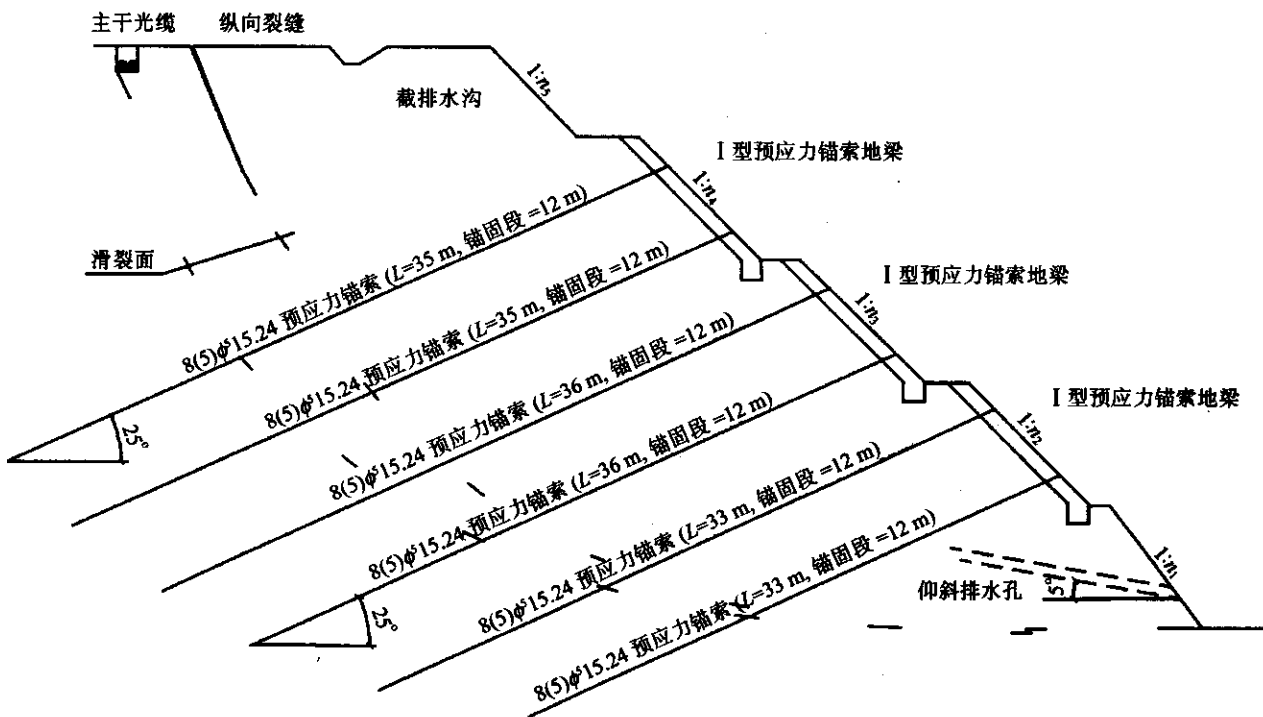


图 3

3 结语

(1)内蒙古老集高速公路 K320+160~K320+980 段路堑边坡失稳原因是碎裂结构的玄武岩Ⅲ、Ⅳ级结构面的不稳定组合与膨胀土吸水膨胀所致,其诱发因素是水。

(2)对以膨胀土为主的边坡,最好采用分层分级

开挖的工序,防护应及时跟上,边挖边护,不宜长时间放置。

(3)本工程已竣工近二年,工程实践证明,前期对边坡失稳原因研究分析是正确的,以防水、固结和支挡锚固相结合的综合治理方法是成功的。