

文章编号:0451-0712(2006)08-0022-06

中图分类号:U416.1

文献标识码:B

动态监测在公路边坡防治工程施工中的应用

蒲春平¹, 韩 龙²

(1. 广东省路桥建设发展有限公司 广州市 510635; 2. 中铁西北科学研究院 兰州市 730000)

摘 要: 通过对几处高边坡治理工程的跟踪监测,在对资料及时分析与反馈的基础上,较好地指导了现场的施工,最后提出了一些关于边坡防治动态信息化方面的认识。

关键词: 高边坡防治; 动态监测; 信息反馈

边坡问题历来是各工程行业部门设计、施工中的头等大事,对边坡问题的研究也成为一项重要而迫切的课题。长期以来,路基边坡的综合防护技术一直是公路修筑中常见但研究程度相对较低的技术问题。20 世纪 80 年代中后期前,公路修建的技术含量和等级比较低,遇到复杂的地质环境,线路多采取绕避或桥、隧形式通过,高填深挖路基比较少见,20 m 以上的高边坡很少遇到。从一定角度上讲,这样虽然相对提高了运营的安全度,但线路的运营效率比较低,投入养护和小型工程治理的费用也不少。进入 20 世纪 90 年代,随着国家在基础建设项目上的大力投入,公路建设进入了一个前所未有的高速发展阶段,大量新工艺、新技术的开发和应用,使得公路修建的技术得到了飞跃发展,以前制约和困扰技术部门的边坡、路基等问题也得到了极大的改观。诸如预应力锚索、锚杆、土钉、抗滑桩支挡、注浆加固等等,诸多工程加固措施的普遍推广使用,对于 40 m 以上,乃至百米高边坡的防护也已不成问题。对边坡稳定性的分析也处于不断发展中,理论上更趋于成熟和完善,由过去单一的定性化逐步向量化、半量化过渡发展,大量的工程测试手段被广泛地用于边坡的动态化设计、施工和稳定性评估的各个环节中,极大地弥补了勘察工作的不足。路基边坡的防护与加固技术体系,愈来愈多地从勘察、设计、施工、变形监测的并行性、智能性、反馈性和综合环保性等方面加以考虑。对于重大边坡工程,采用监控手段来指导施工和利用反馈的信息进行动态化设计的思维模式正逐步趋于成熟。

1 边坡防治的动态信息化

边坡防治的动态信息化,顾名思义,即要求在防治工程实施中从设计到施工都遵从动态化的、信息化的思维去指导设计和施工。由于岩土工程的建设周期一般比较长,而且在施工中,因岩土介质存在很大的差异性,特别是对于具有复杂地质环境的岩土工程,随时会不断形成新的工作面,在时间和空间上控制边坡的各种参数和因素都会发生相应的改变。这是一个动态的不断变化的过程,若仍然遵循原始的设计方案和施工工序、工艺,有可能无法安全实现治理的目的。这就要求设计应是动态化的设计,及时依据施工反馈回来的实际情况进行调整,变更设计方案;施工是信息化的施工,不断依据实际情况进行工序和工艺的调整,以便采取更为合理、有效的支护措施,选择最优化的施工方案。如此,就要求很好地完成 3 个方面的工作:一是工程方案的优化设计及预先计算分析;二是施工过程中的动态变形监测及信息反馈处理;三是对工程现状的动态分析。

1.1 明确病害类型及破坏形式

要确定一个边坡工程方案的设计,首先必须要搞清该病害的类型(比如说是滑坡、崩塌,还是错落等)、破坏模式(是平面破坏、楔体破坏,还是圆形破坏、折线破坏)以及所处区域地质环境和产生破坏的形式。只有了解了这些最原始的信息,才能制定出比较合理的治理措施。

1.2 对影响边坡稳定主要因素的综合分析

仅知道边坡的原始信息,依此而设计的治理方案也还不是最优化的,因为影响边坡稳定性的因素

很多,有内在的,也有外在的。内在因素主要包括坡体结构、组成边坡的岩土性质、地质构造、地下水的作用等;外在因素通常指边坡形态的改造、当地气候条件的影响等,诸如地震、大的地质构造运动以及后期施工的改造等,也会对边坡的稳定性带来不同程度的作用。因而,这一切在边坡的设计中都应充分予以考虑。

1.3 施工监测与信息反馈

依据以上2点提出的优化设计方案,是在某一特定土质参数条件下的结果,其真实性与可靠性还必须通过施工实践加以揭示,并通过施工过程中出现的信息进行及时地分类、采集、处理和反馈,加以调整。如何来实现这一目的,这就要很好地发挥对边坡动态变形监测的作用,它不仅是检验边坡设计正确性和发展设计理论的重要手段,而且还是及时指导正确施工、避免边坡工程事故发生的必要措施,利用边坡施工前期的监测成果来指导后继工程施工的方法,已逐渐发展成一种新的信息化的施工技术,应用的手段先进且前景广阔。深层和地表位移监测、地下水变化的监测、岩土强度变化过程的测试、土压力测试、预应力测试以及对锚固工程质量的检测等等,从宏观到微观都有了极大的发展。通过现场测试,及时将施工期间和竣工后的稳定性信息准确反馈,不断完善设计指导施工,防止边坡破坏,并及时采取补救措施。

1.4 边坡施工各阶段的稳定性评价

对边坡每个阶段的稳定性进行分析,并依据实测反馈回来的信息,采用反演分析法反求岩土参数,利用反演参数再通过动态计算模型分析计算下一阶段施工中土体与支护结构性状的施工方法,已越来越受到施工单位的认可。只有将这种方法循环应用在施工的每个阶段,不断评价,不断修正,才能确保施工的安全高效,这在节约投资、确保质量、缩短工期等各个方面都是最为有利的。

2 工程实例

以下通过京珠高速公路几处高边坡的实例,来揭示高边坡动态监测所发挥的作用。

2.1 对破碎岩石类高边坡的动态变形监测

京珠高速公路粤境K67+800~K68+100段高边坡(东坪古滑坡),是该路段一个非常典型的岩石边坡。边坡位于断层破碎带中,为一古错落体,自然边坡高近百米,平均坡度为 $50^{\circ}\sim 60^{\circ}$,历史上曾产生

过错落或滑动变形,岩体结构松散破碎,裂隙发育;组成坡体的岩石成分主要为灰岩,局部为砂岩,风化程度较高,呈砂土状;坡体内地下水不丰富,季节性较强,多为裂隙水。边坡开挖后,在线路左侧形成近70 m的高边坡,古滑坡体的 $2/3$ 被削去,开挖面积较大,边坡削方后稳定性比较差,因而设计采取强加固措施。第1级边坡为预应力锚索抗滑桩支挡防护,桩长为35 m,桩截面为 $2\text{ m}\times 2.5\text{ m}$,桩端设2孔预应力锚索,锚索长度为35 m;第2~6级边坡设计坡率为 $1:0.75$,采取预应力锚索纵梁防护,纵梁间距为3.5 m,每级边坡布设锚索2排,锚索长度 $25\sim 35\text{ m}$;堑顶采取预应力锚索短梁预锚防护。边坡加固工程于1999年12月破土动工,考虑到边坡特殊的地质环境,施工采取先挖后支的施工方法,即先按设计坡率开挖到设计坡高,再进行锚索施工、地梁施工,逐级开挖,逐级防护。鉴于边坡地质环境的复杂性,为保证施工的安全,对该边坡自始至终进行了变形监测,监测工作在施工中发挥了比较积极的作用,下面就监测的情况和对施工的指导作用给以简要的描述(图1)。

该边坡正面防护范围约300 m,布设了2个监测断面,采取的监测手段是深孔测斜和地面倾斜盘。深孔测斜主要是对边坡深层岩土体的变形情况进行跟踪监测,以便较全面地掌握边坡整体的变形情况;同时附以地面变形及裂缝变化等地表变形监测,主要是观测施工开挖后边坡的松弛变形范围。监测结果揭示:每当下级边坡开挖时,边坡总会出现一个变形过程,而且随着开挖面的增大,变形的程度也会加剧。

(1)当边坡开挖至第5级边坡时,监测结果揭示:堑顶自然边坡上部不断出现松弛拉张裂缝,并逐渐向两侧未实施加固的坡体延伸,边坡浅层出现滑动变形,程度逐渐严重,松弛变形的范围不断扩大,施工的安全隐患日益突出。实际工况反映:在第6~4级边坡开挖过程中,由于施工未依照设计文件要求的防护一级开挖一级原则,造成已开挖成型边坡长期得不到加固防护,边坡松弛变形日益严重。变形范围的扩大也表明最初设计方案的加固范围略显不够,继续施工有可能无法保证下级边坡的安全。当这一情况反映到业主及设计、施工单位后,采取了以下措施:

①暂停边坡的继续开挖,对已成孔并置放了锚索但未完成地梁施工的锚孔,实施紧急注浆、临时预张拉的应急处理措施;

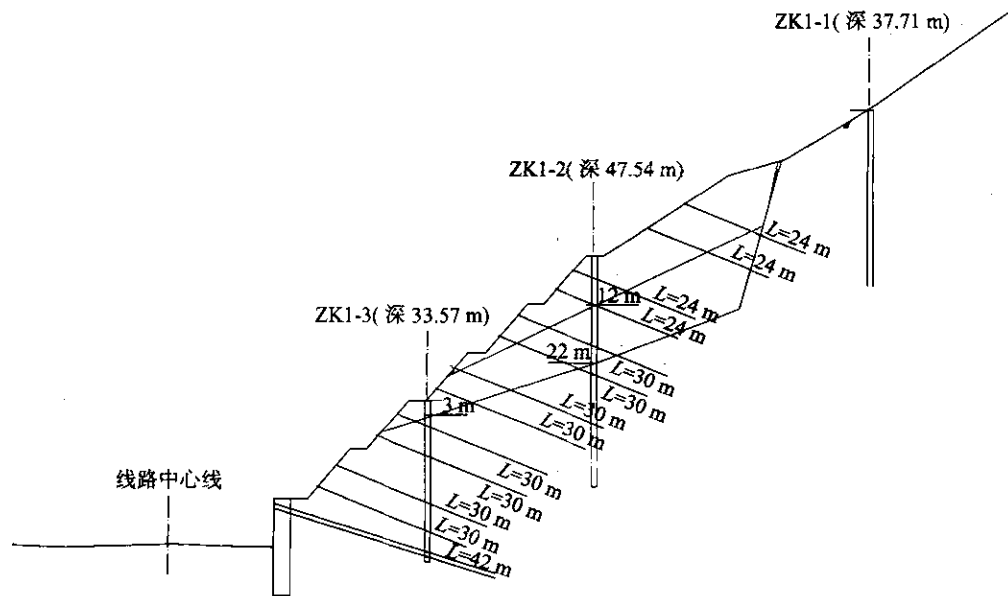


图1 东坪古滑坡深部位移监测断面示意

②设计单位及时对设计进行调整,扩大加固范围,增设预应力短梁加固已经产生变形的坡体;

③对堑顶出现的裂缝进行水泥砂浆封填,防止地表水下渗给边坡带来不利影响;

④加强观测力度,扩大观测范围。

在经过以上措施处理后,有效地控制了边坡变形日趋恶化的状况,也控制了变形范围的进一步扩大,确保了下级边坡的安全施工。

(2)边坡开挖至第2级边坡时,出现二次变形情况,已经封填的裂缝再次开裂,边坡沿中层滑动面产生滑动,局部未防护坡面大面积产生塌滑现象,迫使施工再次停工。工况反映:第3、4级边坡局部坡体开挖后揭露的地层情况与勘察的结果出入很大,依照原设计该部分坡体基本为基岩,稳定性较好,不需要进行加固防护,但实际情况则是风化很严重的断层破碎带地层,裂隙发育,而且在雨季还出现大面积的裂隙水沿坡面渗流;另外,第4级以上边坡的水泥混

凝土反力结构施工进度缓慢,不能及时有效地施加预应力控制上部坡体的变形也是一个主要因素。据此,设计单位变更设计方案,扩大了加固防护范围,同时业主责令加快上部边坡的施工进度,停止边坡的进一步开挖,等到第2级以上坡面防护措施全部到位后再进行第1级边坡的施工。

(3)在坡脚抗滑桩施工中,由于施工单位没有按照原设计的暗挖方案而改为明挖,造成桩前大量被动土压力的消散,从而引起边坡的剧烈变形。这一监测信息反馈到设计单位后,经验算表明,原设计加固方案可行,引起变形的原因主要是由于施工工序的不合理所致。据此,施工单位及时调整了施工方法,停挖一部分桩身,集中力量施工坡脚临空面较高处的桩及桩后回填,并在桩前挂板。

调整施工方法之后,边坡的变形随即减缓。施工监测结果的信息反馈,在指导设计和调整施工方面的作用一目了然(表1)。

表1 滑坡变形与施工工况对照

时间	2000年2月~3月	2000年6月~10月	2000年12月~2001年5月	2001年8月~12月	2002年3月~12月
滑带1位移/mm	20.5	4.01	13.37	5.95	0.88
滑带2位移/mm	17.4	8.41	3.27	4.02	1.66
滑带3位移/mm	6.91	6.82	1.67	1.21	0.66
工程措施	第6~4级边坡开挖	第5、4级边坡开挖	第3级边坡开挖	第2、1级边坡开挖	主体加固工程竣工

图2是边坡变形位移量随时间的变化曲线图,从中可以清楚地了解边坡各个施工时段的稳定状况。

2.2 变形监测在煤系地层边坡施工中的作用

京珠高速公路粤境K98+395~K98+900段高边坡地处强风化破碎煤系地层中,原始地貌属丘

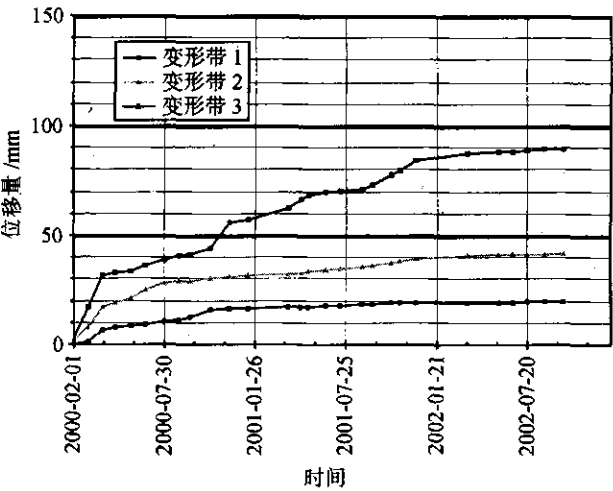


图2 东坪古滑坡 ZK1—2 号测斜孔 S~T 曲线
陵~低山, 风化剥蚀明显, 自然坡面陡缓相间, 一般

为 $15^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 。边坡开挖后在线路左侧形成高约 60 m 的高边坡。据地质勘察和后来的施工开挖揭示: 该区地层具显著的顺层结构, 岩层倾向开挖面; 构成坡体的岩石成分主要为灰白色石英砂岩夹劣质煤、泥岩, 风化强烈, 节理裂隙发育; 地下水发育, 裂隙中过水迹象明显。岩层受水侵蚀软化程度较高, 加之岩层倾角为 $17^{\circ}\sim 33^{\circ}$, 在施工中极易产生“工程滑坡”。该边坡最初的设计方案为: 第 1 级边坡采用锚索抗滑桩, 桩长为 30~35 m, 桩截面为 $2.8\text{ m}\times 3\text{ m}$, 桩间距为 6 m, 每根桩端设 2 孔预应力锚索; 第 2~4 级边坡的坡率为 1 : 0.75, 坡高为 12 m, 坡面采用锚索纵梁防护, 设 2 排预应力锚索, 索长为 30~38 m, 梁间距为 4 m。后依据实际开挖情况揭示的地质条件变更为: 坡率取 1 : 1, 每级坡高取 8~10 m (图 3)。

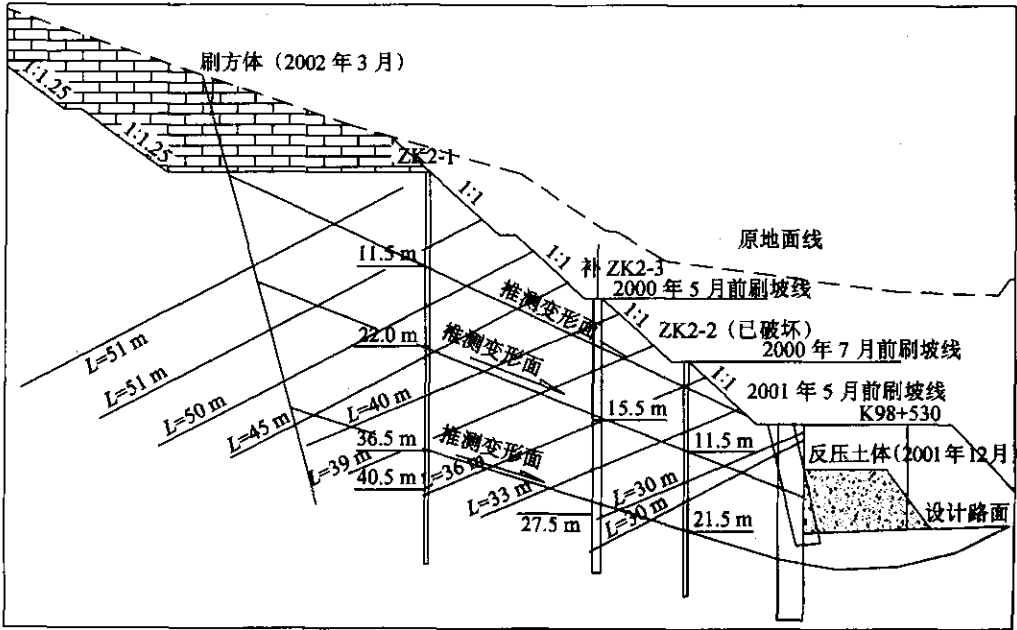


图3 K98 滑坡监测断面示意

由于该边坡的特殊结构, 为保证施工期的安全, 了解和掌握边坡的动态发展规律, 一开始就将动态变形监测放在了首位考虑, 建立起了严密而周全的监测系统, 包括地面位移、深部位移、钢筋应力计、土压力测试计、锚索受力测试等手段。从各项测试的结果看, 均比较好地反映了边坡在各个施工时段的变化规律, 对施工起到很好的指导作用 (图 4~图 7)。

2000 年 5 月~11 月间在第 2 级边坡开挖过程中, 边坡出现大范围的剧烈变形, 堑顶出现长大拉张裂缝, 发展迅速; 深部位移观测孔揭示, 边坡至少沿 2 层滑动面产生倾向线路的滑动, 最大时的周位移量近 15 mm, 日均 2 mm 多。施工工况反映: 第 4、5 级

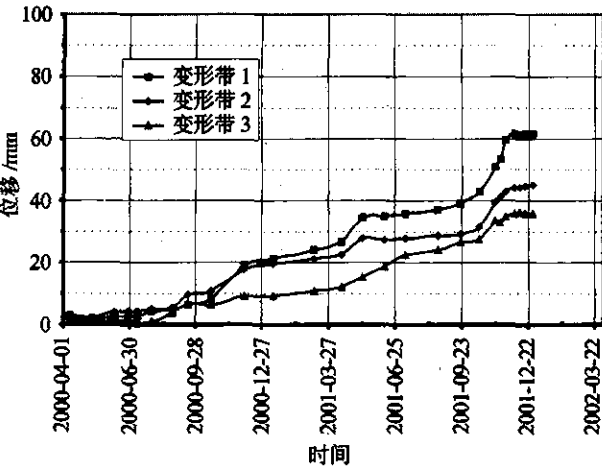


图4 ZK2—1 测斜孔 S~T 曲线

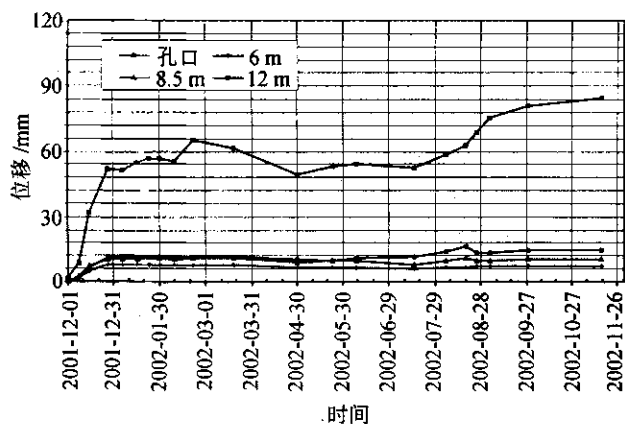


图5 K98+670断面ZK2-3孔S~T曲线

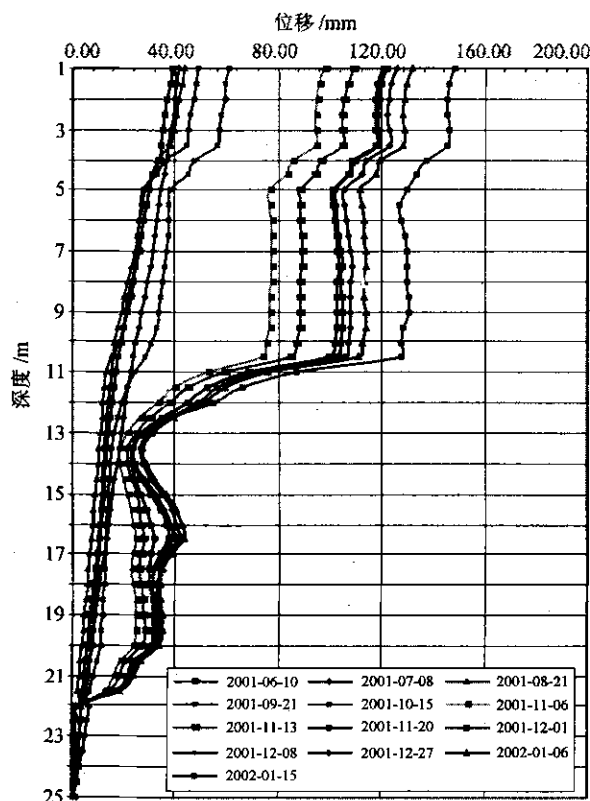


图6 K98+530断面ZK2-2号测斜孔位移曲线

边坡防护工程已经到位;第3级边坡锚索已经完成,正在浇注水泥混凝土地梁;第2级边坡锚孔正在施工中;边坡出现变形的原因皆与地质环境有很大的关系。针对此种情况,业主会同设计单位和有关专家经过多次论证,认真细致地分析后认为,锚索长度略显不够,地层提供的抗拔力偏弱,需要加固补强。后经多次设计方案变更,在第3、4级边坡又增设了锚索,并将长度加长;同时,暂停下级边坡的开挖,对堑顶出现的裂缝进行封填,防止地表水下渗给滑带土带来不利影响。变更方案实施后,变形得以控制。

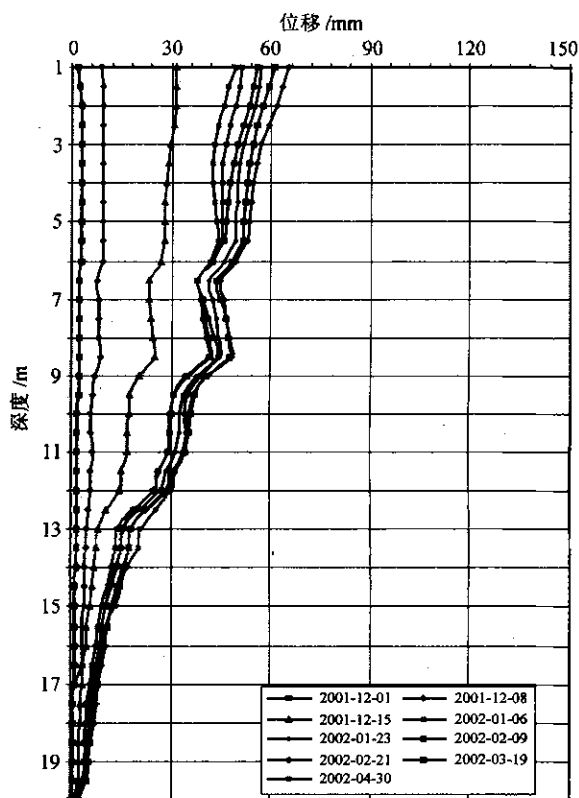


图7 K98+670断面ZK2-3号测斜孔位移曲线

2001年9月~2002年2月第1级边坡抗滑桩开挖,在近坡脚位置产生大范围的临空面,造成边坡土体内应力的集中释放,加之施工放炮震动的影响,促使边坡沿顺层理结构面再次出现剧烈变形,而且变形的深度已不仅仅限于中浅层,深层也开始出现缓慢变形,边坡险情再次拉响。此时,第2、3级边坡锚索及补强的锚索都处于未张拉状态,监测结果真实地反映了施工工序的不合理。据此,业主责令二次停工,并要求:

(1)对已完成的桩坑及时浇注,抓紧时间张拉第2、3级边坡锚索或预张拉到60%的预应力;

(2)严格控制放炮用药量,变跳一挖一为跳二挖一;

(3)对深层的变形尽快进行论证,重新对该边坡的稳定性进行仔细分析。

2002年7月,抗滑桩浇注完成,桩前土开挖时边坡出现第3次险情,边坡滑动不仅造成堑顶裂缝的再次拉开,同时滑动产生的巨大推力作用在抗滑桩上,造成部分桩体产生倾斜。地表变形观测的结果显示,有5根桩的最大偏移量达25 cm。施工工况揭示:此时桩端的预应力锚索尚未施工完成,桩前土体的开挖也只有1/2,局部有2/3。变形监测结果揭示:桩

前土体的开挖,极大地削弱了被动土压力,使锚索桩成为普通型悬臂桩;同时揭示,埋入端的地层条件不好,基础较软,提供的摩阻力不够,因而造成桩整体倾斜。虽然设计的锚索尚未施工完成,此时的受力状态仅为普通桩的受力状况,但从另一个侧面也反映边坡深层滑动的可能性,设计上存在一定的缺陷。据此,业主持召开专家研讨会,经过多方多次论证后提出:

(1)坡顶大面积刷方减载,减轻滑体重量;

- (2)产生严重变形地段立即实施反压;
- (3)桩端锚索抓紧施工,张拉之前桩前土体停止开挖;
- (4)对桩基础进行注浆加固补强,提高地基承载强度;
- (5)抗滑桩间加固补强。
- 调整方案实施后,边坡的变形得到明显的改观,有效地制止了变形程度的进一步发展(表 2)。

表 2 滑坡变形与施工工况对照

时间	2000 年 4 月~11 月	2001 年 3 月~7 月	2001 年 9 月~12 月	2001 年 12 月~
滑带 1 位移/mm	19.51	16.87	25.61	4.72
滑带 2 位移/mm	17.84	10.03	16.85	3.12
滑带 3 位移/mm	9.16	13.19	13.39	1.34
工程措施	第 5~3 级边坡开挖成型锚索施工	第 2、1 级边坡开挖成型锚索地梁施工	抗滑桩桩坑开挖	主体加固工程竣工

2 个实例真实客观地揭示了在高边坡防治过程中,及时掌握和了解不同类型边坡在各个施工阶段的变形规律,利用反馈回来的信息合理地调整施工工序,变更设计方案,以确保施工安全顺利地完成的重要性。动态变形监测技术无论是从观察边坡发展状况方面、了解边坡变形发展规律方面、指导施工进行合理化调整方面,还是利用反馈信息进行动态变更设计方面所发挥的作用都是非常积极的。

3 结语

通过对京珠高速公路粤境内 2 处不同类型和性质高边坡施工全过程的跟踪监测,谈几点认识以求与同行共同探讨。

(1)公路路堑边坡变形的预防与治理是一个多参数的岩土力学课题,包括设计、施工、监测、稳定性评价等各个环节。要成功完成一个边坡的防护问题,依据地质勘察结果进而提出合理优良的设计方案是前提条件。

(2)准确了解和评价边坡的工程地质条件以及破坏模式,是提供优良设计方案的前提基础,是所选地质参数是否合理的关键。如若不然,将为以后的施工带来很大的影响,造成工期延误,增大投资的问题也格外明显。

(3)在施工过程中采取有效而合理的施工工艺和手段是质量的保证,而施工期间和竣工后的动态变形监测工作则是保证安全和检验工程措施是否得

力的重要手段,只有各个环节相互协调、信息相互传递,遵循设计和施工动态化、信息化的处理体系,才能为最终的稳定性评价提供准确可靠的依据。

(4)施工工艺的改善、新技术的开发与应用,极大地改观了目前公路边坡施工的窘迫状况。从过去常规的一挖到底再开展支护、对边坡自稳要求极高的技术,到今天依据设计坡率和地质条件进行先支后挖、随挖随支或先挖后支的 3 种基本施工方法开展施工,极大地提高了施工的安全性。

(5)对不同类型边坡建立严密合理的动态变形监测体系,是确保边坡安全的重要手段。通过对监测获取信息的分析处理,不仅可以判断边坡的稳定状态,消除安全隐患,还可以对设计方案合理与否做出评价,以提高设计和研究的水平,为今后同类型边坡的防治提供借鉴。

参考文献:

[1] (苏)E. И 叶米里扬诺娃. 中国铁道科学研究院西北研究所,译. 滑坡作用的基本规律[M]. 重庆:重庆出版社,1986.

[2] 武汉水利电力学院工程地质教研室. 边坡稳定性评价与预测预报[Z]. 1988.

[3] 杨林德. 岩土工程问题的反演理论与工程实践[M]. 北京:科学出版社,1996.

[4] 张有天,周维垣. 岩石边坡的变形与稳定[M]. 北京:中国水利出版社,1999.