

文章编号: 0451-0712(2005)01-0096-05

中图分类号: U415

文献标识码: B

八尺门滑坡锚索抗滑桩施工与监测

韩艳芬, 赵蔚东

(厦门市路桥建设监理有限公司 厦门市 361012)

摘 要: 深入介绍了八尺门滑坡区锚索抗滑桩的施工技术, 对人工开挖抗滑桩桩孔的若干问题进行了分析, 并就锚索抗滑桩的监测工作进行了初步的探讨, 对公路工程的滑坡综合治理有较强的参考价值。

关键词: 滑坡治理; 抗滑桩; 锚索; 监测

滑坡是高速公路工程建设, 特别是山区公路高边坡施工中经常遇到的一种自然灾害, 大的滑坡灾害可以使交通中断、河流堵塞, 甚至掩埋村庄, 造成极大的生命财产损失。因此, 滑坡的防治具有重要的意义。抗滑桩是滑坡整治中一项重要的支挡措施, 近年来, 桩和锚的结合已成为抗滑桩的发展趋势。所谓预应力锚索抗滑桩(简称锚索抗滑桩), 它是在一般抗滑桩顶部施加强劲的预应力, 使抗滑桩—预应力锚索形成一个联合的受力体系, 大大增强了抗滑桩的支挡能力。

抗滑桩在滑坡治理中已得到了广泛的应用, 如京珠高速公路沿线滑坡、莞深高速公路 K15+780~K15+880 段边坡加固工程等。福宁高速公路八尺门滑坡是该高速公路沿线最大规模的滑坡群, 本文拟对该滑坡整治工程中的锚索抗滑桩施工与监测进行探讨, 从而为同类工程提供有效的参考。

1 工程概况

福宁高速公路是同江~三亚国道主干线福建省境内福鼎~宁德的一段, 全长 141.1 km, 是国家基本建设的重点工程。八尺门滑坡区位于福宁高速公路 A3 标段八尺门互通区, 在八尺门特大桥与白岩里隧道之间(K23+830~K24+540), 是 1 个大型堆积层古滑坡群。该滑坡形成于 200 多年前, 地形上可见错动滑移特征。由于高速公路主线路堑穿过古滑坡群的中下部, 路堑土方开挖切断了古滑群, 扰动了它的自身稳定性, 因此诱发了该滑坡的复活, 并影响到工程的建设速度。根据滑坡性质与成因又划分为 1 号、2 号、3 号和 4 号共 4 个滑坡带。滑坡沿高速公路

前进方向分布, 全长约 750 m, 总宽约 160 m。地质资料显示: 1 号、2 号古滑坡区的面积为 8 万多 m^2 , 地质特征主要是亚粘土, 厚度不均, 最大厚度 18.2 m, 潮湿饱和。古滑动面的土质较松软, 有擦痕和倾斜镜面, 埋深 6.80~12.95 m, 厚度 0.20~1.60 m; 亚粘土下层为强风化凝灰岩, 厚度为 8.35~29.6 m, 以下为灰黑色的弱风化凝灰岩。1 号滑坡因在路基外侧不做治理。3 号、4 号古滑坡区的面积为 5.6 万多 m^2 , 地质特征主要是粉质粘土, 厚度 4.46~10.6 m, 潮湿饱和; 其滑动体为残积粉质粘土, 可塑、饱和状, 厚度 3.20~8.60 m; 下层为强风化凝灰岩, 节理发育, 厚度为 1.8~2.6 m; 以下为灰白色、黑色的弱风化凝灰岩。

1.1 滑坡成因

早在 2000 年 5 月, 因路基开挖施工破坏了古滑坡的平衡, 滑坡体从北向南逐级下滑开裂, 加之雨水的作用, 山体下滑最大落差达 5 m 多, 水平位移约 10 m, 滑坡断裂带(滑动面)在灰色凝灰熔岩层面上有明显的剪出口。古滑坡群复活的原因有多方面, 主要是山体土质松软、地下水丰富, 坡积层多为黄褐色的软弱粉质粘土层, 土体的抗剪强度低, 自稳能力差; 其次, 由于八尺门高速公路路堑的开挖, 形成较陡的临空面, 破坏了山体原有的应力平衡; 第三, 因滑坡区前期路基施工中排水系统不完善, 山顶区较大面积的降雨全部排向滑坡区, 加之短期内台风暴雨等降水沿地表裂缝下渗, 增大了滑坡体内岩土体的孔隙水压力, 降低了土体的抗剪强度, 从而造成古滑坡复活。

1.2 滑坡的支挡形式

万方数据

收稿日期: 2004-08-13

通过地质、监测单位的精心勘测和试验,针对滑坡区不同区段,选取滑体不同滑面的相关系数,根据剩余推力法和分块极限平衡法计算得出各滑坡区的推力:3号滑坡区(已滑动破坏、变形)主滑动面的滑坡推力 $E=290\text{ kN/m}$;4号滑坡区(有变形,但未滑移)滑坡推力 $E=138\text{ kN/m}$;2号滑坡区(有少量变形,不稳

定,处于极限平衡状态)滑坡推力 $E=68\text{ kN/m}$ 。

最后设计单位用近1年的时间反复论证,并经过多方方案比选,最终明确了八尺门古滑坡区的综合治理方案。其中,在深挖路堑的高边坡平台上设置锚索抗滑桩是治理措施中的一个重要组成部分,如图1所示。

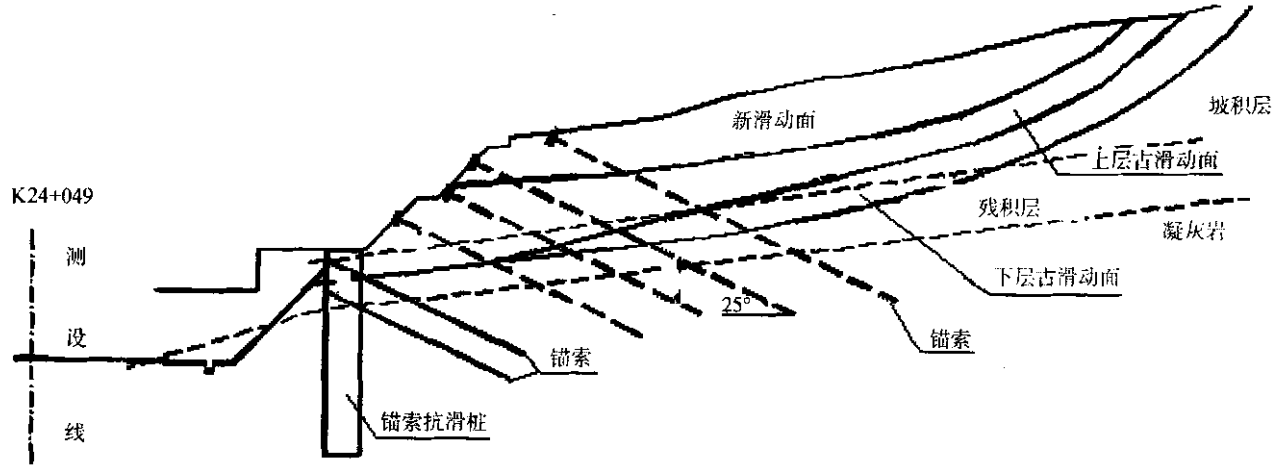


图1 八尺门滑坡锚索抗滑桩示意

由于滑坡区不同的地段其地质构造不同,边坡抗滑桩所采用形式也不完全相同。根据监测数据确定的具体设计方案如下。

1.2.1 3号滑坡区

(1)对已滑动破坏的滑坡体进行清方,并在第3级平台处设置锚索抗滑桩,桩的受弯侧垂直滑坡方向。桩长20~25 m,桩间距5 m,在桩顶下1 m和4 m分别设置2组共4根预应力锚索。

(2)在滑坡区中部山坡上设置8根预应力锚索,水平间距2.5 m,每孔锚索的设计张拉力为650 kN。

(3)考虑到路基开挖卸荷和爆破松动的影响,为确保抗滑桩锚固段地基的稳定性,对第1、2级岩质边坡采用预应力锚索地梁结合锚杆混凝土框架予以加固。预应力锚索水平间距6 m,垂直间距3 m,锚杆间距2 m×2 m。第1级边坡预应力锚杆长度为11 m,第2级边坡为13 m。第1级边坡锚杆长度为8 m,第2级边坡为10 m,第3、4级边坡采用衬砌拱护坡并植草防护。

1.2.2 4号滑坡区

该段最上1级平台坡率为1:1.5,坡面上设5排预应力锚索混凝土框架,山坡上设3排预应力锚索,预应力锚索水平间距3 m,每孔预应力锚索设计张拉力为650 kN。第1、2级边坡采用锚索混凝土框架

防护,锚杆间距2 m×2 m。第1级边坡宽为8 m;第2级边坡宽为10 m,边坡上部台面设20个锚索抗滑桩,间距5 m;第3级边坡宽为12 m。

1.2.3 2号滑坡区

该段计算出的滑坡推力 $E=68\text{ kN/m}$ 。在路堑顶的外侧设置1排抗滑桩,桩长20 m,截面尺寸为3.5 m×2.5 m,间距6 m。边坡采用预应力锚索地梁结合锚杆混凝土框架予以加固,框架内衬砌六角混凝土预制块护坡并植草防护。

3个滑坡地段共布设有123根不同类型的抗滑桩,因地形、位置和地质情况的差异划分为如表1所列的几种锚索抗滑桩类型。

2 工程施工技术

2.1 施工前的准备工作

由于滑坡区施工非常困难,各种影响因素多,正式开工前进行了大量的准备工作,如:修建临时施工便道,设置输变电路,建设混凝土拌和站,配置材料装载、输送机械,搭建临时工棚等,以满足抗滑桩施工的特殊需要。

2.2 施工工艺

锚索抗滑桩有别于普通的抗滑桩,其施工工艺流程如图2所示。

表 1 八尺门滑坡锚索抗滑桩分类特征

区域	桩长 m	根数 个	截面尺寸 m×m	桩间距 m	钢绞线预应力 kN	桩护壁厚度 cm	桩身强度	锚索注浆强度
2 号滑坡区	20	43	2.5×3.5	5	2×1 000	25	C25	M40
3 号滑坡区	20	21	2.5×3.5	5	600(700)	25	C25	M40
	20~25	39	2.0×3.0	5	3×1 000	25~40	C25	M40
	20~23		2.5×3.5	6	3×1 000	25~40	C25	M40
4 号滑坡区	20	13	2.5×3.5	6	3×1 000	25	C25	M40
	25	7		6	3×1 000	25~40	C25	M40

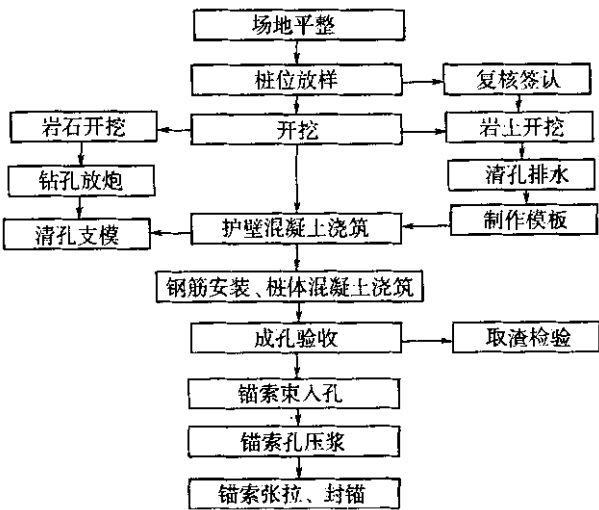


图 2 锚索抗滑桩施工工艺流程

2.2.1 抗滑桩施工

人工挖孔时桩内废土提升使用简易的人字扒杆配卷扬机,按设计要求进行跨桩开挖。岩层部分的桩孔,采取少量炸药松动爆破,基本成型后人工挖凿孔壁。进行地质情况记录,核对滑坡体的滑动面,有异常情况及时通报给设计单位进行处理。桩孔开挖时桩孔内渗入大量的地下水,施工中则每桩配备相应的抽水设备及时排水。

为保证安全,桩孔开挖时采用加筋混凝土护壁,护壁的施工高度则根据不同的土层分别确定,壁厚 0.25 m,土层特别松软的壁厚 0.40 m,护壁水泥混凝土强度为 C20,使用钢模板,混凝土浇筑时串筒下料,振捣密实。

单根钢筋骨架预制初步成型后,用简易吊架吊放到抗滑桩孔内,工人在抗滑桩孔内通过上下自由移动的施工平台绑扎、安装,使钢筋笼成型。由于抗滑桩主筋为对焊,安装时应特别注意使钢筋焊接点避开滑坡体的滑动面,锚索抗滑桩则预先安装好锚索预埋管。

钢筋骨架制作合格后,抗滑桩混凝土浇筑按要
求使用串筒和泵送导管,人工振捣,每桩连续浇筑到顶,不留施工缝。

2.2.2 锚索施工

锚索抗滑桩混凝土强度达到要求后,安置锚杆钻机。确定锚索孔位后,按设计要求用罗盘调整方位和角度,钻孔是无水钻进。由于八尺门滑坡区的土质多为破碎岩石,土质松软,地下水丰富,为防止施工中出现塌孔、缩径和扭曲等意外事故,造成锚索钢绞线下孔困难,钻孔过程是采用全套管跟进的钻孔方式。

设计要求锚索的锚固端应伸入到弱风化岩石层 2.0 m 以上,施工中钻孔深度、终孔位置主要根据钻出的岩石渣样来判定。锚索自由端在滑坡体的土层内,为保证锚索钢绞线顺利下孔,采用高压气流清除孔内岩粉。

抗滑桩锚索采用了 12 根(φ15.24)低松弛高强度预应力钢绞线,按要求分成内锚段、张拉段和外锚段 3 个部分。锚索束底部安装导向帽,锚固段范围内每隔 1 m 设置 1 个隔离支架,张拉和外锚的自由段设置架线环,钢绞线束的自由段涂防腐漆后套裹在 1 根 PVC 塑料软管中,并在锚索钢绞线的锚固段安装 1 根水泥压浆管。检查无误后人工将锚索钢绞线束送入锚索孔内,由于锚索钢绞线较长,大多在 40 多 m 以上,施工时注意清孔和整体配合。锚索钢绞线束下孔后调整导向帽位置,使其距孔底 50 cm 的距离。锚索钢绞线束安装后拔出钻孔套管。

待套管拔出后及时进行孔内压浆,使压入的水泥浆与孔壁的岩石体达到粘结要求。注浆时浆液搅拌均匀,泵送到孔底,注浆压力控制在 0.1~0.2 MPa,使孔内浆液充分密实,强度按设计控制,压浆要到水泥浆返出孔口时为止。

锚索的外锚段设置承压板,距抗滑桩顶部 1 m 和 4 m 处安装外锚头,强度达到要求后进行初张拉,

7 d 后补张拉,最终确定达到要求后封孔、封锚。

3 锚索抗滑桩的监测

3.1 监测内容

为全面了解滑坡整治工作的效果,掌握滑坡区滑坡体稳定状态和抗滑桩在运营过程中的受力和位移情况,检测已完成的抗滑桩桩身位移和抗滑桩两侧土压力及锚索预应力,进而为综合分析边坡的变形和发展状况提供依据。从现场施工的 123 根锚索抗滑桩中选择了 8 根抗滑桩作为监测体实施了监测,下面就自 2001 年 7 月起的锚索抗滑桩监测数据做进一步阐述

3.2 抗滑桩桩身位移监测及结果分析

监测和结果分析的目的是:检测抗滑桩在滑坡推力作用下可能发生的位移和扭转情况,及时预报施工后抗滑桩的位移;结合土压力的受力分析,进而分析边坡的变形发展状况;通过抗滑桩位移的大小,可进一步反算出抗滑桩的受力,并与设计值进行比

较,及时预报可能发生的危险。在 8 根抗滑桩中,每根桩身都埋设和安装了 2 根测斜管(安装方式如图 3 (a)所示),采用数字式测斜仪对桩的深部位移进行测试,观测抗滑桩的桩身位移。位移监测成果见表 2。监测结果显示,抗滑桩在施工后有一定的位移,如 2 号滑坡的 15 号抗滑桩,目前桩顶累计位移量为 14 mm。

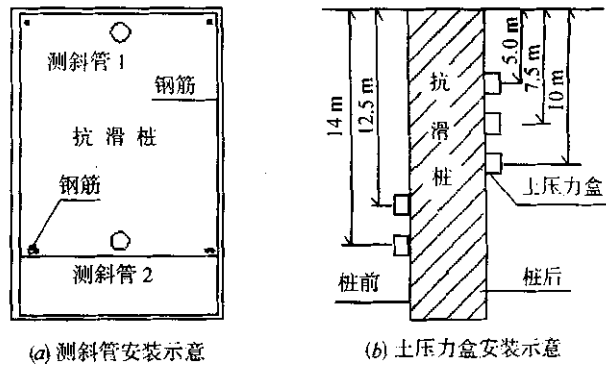


图 3 抗滑桩监测示意

表 2 2002 年 1 月~2003 年 7 月抗滑桩位移统计

观测时间	2002 年 1 月 位移/mm	2002 年 7 月 累计位移/mm	2002 年 11 月 累计位移/mm	2002 年 12 月 累计位移/mm	2003 年 6 月 累计位移/mm	备 注
2 号滑坡区 5 号桩	0	3	5	11	12	抗滑桩桩身位 移发生变形最 低点的位置大 约在距桩顶 12 m 左右处。
2 号滑坡区 15 号桩	6	8	10	12	14	
2 号滑坡区 22 号桩	1	1	4	7	9	
3 号滑坡区 3 号桩	1	3	4	8	10	
3 号滑坡区 19 号桩	0	2	3	5	6	
3 号滑坡区 51 号桩	3	5	8	9	15	
4 号滑坡区 3 号桩	0	2	6	13	16	
4 号滑坡区 13 号桩	1	6	7	9	12	

在桩后土体推力作用下,整个滑坡区 8 根受监测的抗滑桩没有大的变形,只有少数几根桩位移较大,如 4 号滑坡区的 3 号桩顺滑坡滑动方向位移了 16 mm,发生变形的最低位置在距桩顶 12 m 左右的位置。监测显示,滑坡区滑坡体的变形从 2001 年 7 月开始突变,2002 年 7 月前后趋于缓和,2003 年 7 月基本稳定;抗滑桩的桩身位移及变形均在设计允许范围之内,都处于稳定的支挡状态,其支挡作用发挥出了预期的效果。但要维护好抗滑桩区域的地表,防止雨水渗透和冲刷。

3.3 抗滑桩锚索预应力监测

为监测抗滑桩锚索在施工后的受力运营情况,评价抗滑桩锚索的工程效果,特选择 2 号滑坡区的 3 号抗滑桩、5 号抗滑桩、22 号抗滑桩和 3 号滑坡区的 5 号抗滑桩、9 号抗滑桩、19 号抗滑桩的锚索进行

监测。锚索测力器安装如图 4 所示。

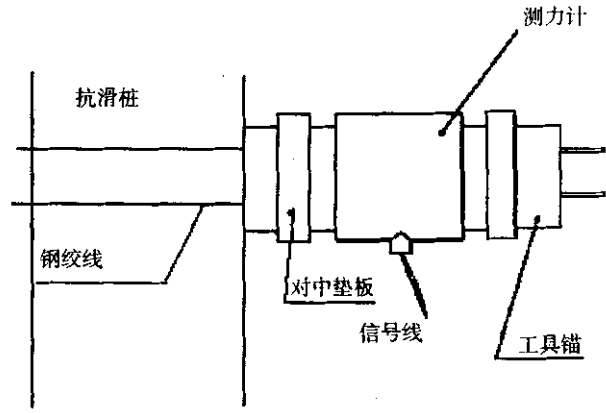


图 4 锚索测力计安装示意

其中,2 号滑坡区的 3 个抗滑桩初始张拉力为 698 kN,监测记录从 2002 年 5 月 30 日开始到同年 12

月底,3 个抗滑桩锚索预应力分别增加 0.8%、6.7% 和 0.3%。3 号滑坡区的抗滑桩初始张拉力为 1 000 kN,2002 年 12 月 15 日开始监测,抗滑桩锚索预应力分别增加了 4.1%、7.5% 和 3.2%。

监测结果显示,滑坡区的抗滑桩锚索受力都不同程度地增加,这与土压力监测结果相吻合,这说明滑坡体有向前推移的趋势,并反映出深部滑坡体有间歇性蠕变现象。

3.4 抗滑桩土压力监测及结果分析

土压力是抗滑桩周围土体介质传送给抗滑桩的水平力,土压力的大小直接决定着抗滑桩的稳定性。由于八尺门互通区土质复杂,各物理力学参数变化

大,仅从理论上分析土压力沿深度变化规律是不全面的,因此,对原始抗滑桩进行土压力观测,为抗滑桩的安全性、稳定性的确定提供依据,以便及时地采取相应的措施保障工程安全。在选择的 8 根抗滑桩中,每根抗滑桩根据挖孔渣样判定地质类别,分别布置埋设 5~6 个压力盒;在滑动面以上监测桩后土压力,滑动面以下则监测桩前土压力;共埋设土压力盒 45 个(详见图 3(b))。通过桩身土压力的监测,了解地下滑坡体的活动规律,为滑坡区治理措施的综合评价提供依据。

表 3 是 2 号滑坡区 5 号抗滑桩 2001 年 7 月~2002 年 12 月的土压力监测数据。

表 3 土压力数据监测成果

压力盒 编号		压力盒 埋深/m	各测读日期(每月 25 日)土压力/kPa													
			6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	12 月	2 月	4 月	6 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
桩后	121	5	1.68	4.2	9.8	7.6	12.1	13.1	11.2	18.3	21.1	20.5	24.8	24.6	24.9	25.1
	135	7	502.1	524.7	522.6	528.4	525.8	625.3	627.8	628.6	632.9	637.2	634.4	637.5	657.9	665.0
	141	10	200.8	210.0	217.7	231.7	242.3	291.5	291.5	291.5	297.7	297.7	294.7	297.7	295.5	293.8
桩前	122	12.5	98.4	92.4	82.5	76.4	86.4	94.4	197.4	634.4	334.4	340.4	348.5	350.4	354.3	460.8
	128	14	849	904	914	916	998	1 041	1 378	1 312	1 407	1 409	1 459	1 421	1 471	1 501

现场监测得到的典型土压力分布曲线如图 5 所示,其中主动土压力(桩后)为正,被动土压力(桩前)为负。

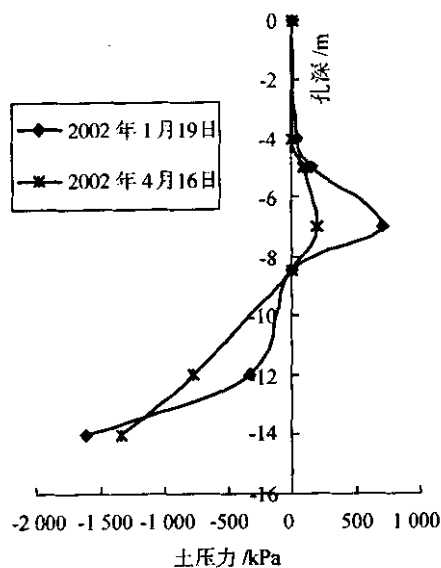


图 5 土压力随时间的分布曲线

值得指出的是,现场实测得到的土压力是动态变化的,而非理论意义上的静止土压力,土压力的变化在很大程度上受滑坡变形的影响。实测土压力的大小与

理论计算值有较大的差异,主要的影响因素包括抗滑桩开挖对土体的扰动及监测设备的精度等。

针对抗滑桩桩身土压力变化并结合其他监测数据综合分析如下。

(1)2 号滑坡区。从观测获得的数据可知,2 号滑坡抗滑桩沿桩身各截面处所受土压力值在不同月份变化不同,所受滑坡推力发展趋势是逐步增大到逐渐稳定,可以判定 2 号滑坡抗滑桩处于安全稳定的支挡状态。

(2)3 号滑坡区。由于滑坡体深部变形显著,对前缘抗滑桩产生了较大的推力作用,从而使得桩后土压力增大,特别是 19 号、51 号抗滑桩,土压力值在 2001 年 11 月~12 月增长较快,最大土压力值出现在桩顶以下 10 m 左右的滑动面处。桩身位移监测结果也表明抗滑桩发生了一定程度的变形,承受着愈来愈大的滑坡推力作用,但该土压力值在设计考虑的安全范围之内。

(3)4 号滑坡区。数据表明抗滑桩也受到了愈来愈大的滑坡推力作用,但桩前土压力增幅略小于 3 号滑坡区,抗滑桩最大土压力一般出现在滑面附近的截面处,这与该区域深部位移检测成果是一致的。抗滑桩有轻微的变形,但处于稳定状态。

路面基层施工质量均匀性评定方法研究

职雨风, 徐 科, 张肖宁

(华南理工大学道路工程研究所 广州市 510641)

摘 要: 基层施工质量对路面整体质量具有举足轻重的影响, 常规基层施工质量评价方法不能满足质量管理的要求, 因此, 尝试使用落锤式弯沉仪(FWD)评价基层模量的均匀性来反映基层施工质量。引入“车道内数据重复性标准偏差 S_r ”、“车道间数据重复性标准偏差 S_R ”、“车道间数据一致性统计量 h ”和“车道内数据一致性统计量 k ”等4个统计量作为分析手段, 结果证明, 这一方法较好地反映了基层施工质量的均匀性。

关键词: 路面基层施工质量均匀性; 落锤式弯沉仪(FWD); 一致性统计量

基层是沥青混凝土路面的承重层, 路面荷载主要由半刚性基层承担。实践证明, 基层施工质量, 对路面整体质量有着举足轻重的影响。国内多条高速公路沥青混凝土路面的早期破坏, 都证明与基层施工质量差有关^[1]。而国内长期以来轻视基层施工质量, 又由于缺乏评价基层施工质量的有效方法, 导致基层施工质量在某种意义上处于失控状态。本文尝试使用了落锤式弯沉仪(FWD)对某高速公路路面基层施工质量进行调查, 并重点评价了基层施工质量均匀性, 得到了比较满意的结果。

从国内目前的基层施工情况来看, 压路机碾压完毕、养生结束后, 基层施工即告完成。对基层施工质量的控制, 仅限于在施工过程中对压实度的检测及摊铺完成后对基层表面离析情况的观察, 以及到

龄期后, 对基层进行抽芯、弯沉测量, 以检测其强度。以上提及的方法虽可作为质量抽查的手段, 但远远达不到评价施工质量的要求。对表面离析情况的观察, 虽能在一定程度上反映基层施工质量, 但由于所见的离析情况仅为表面位置, 对内部的离析情况并不了解。这样, 就使施工质量均匀性的评价带有较大的盲目性。可见, 常规的基层施工质量评价方法效果并不理想。

良好的施工质量必然要求在施工过程中产生的离析少, 施工完成后基层强度均匀一致。因此, 通过对基层强度均匀性的调查, 可直接反映基层施工质量。而模量是表征材料强度的重要指标, 通过调查不同位置处材料模量的均匀性可直接反映强度的均匀性^[2]。其流程如图1所示。

收稿日期: 2004-09-10

总之, 在加固工程施工后, 锚索和抗滑桩的综合支挡有效地抑制了滑坡的深层滑动, 滑坡体变形得到较大程度的遏制。抗滑桩也受到愈来愈大的滑坡推力作用并有轻微的变形, 但监测结果表明抗滑桩都处于安全稳定的支挡状态。

4 结语

八尺门滑坡治理是一项综合性治理工程, 综合了多种新技术, 采用了防与治相结合、排水与抗滑相结合、抗滑与卸荷相结合的方案, 对不同地段采取相应的最合适的治理措施, 通过优化设计解决了公路边坡稳定性问题。现场监测资料表明, 到目前为止,

滑坡体未发生进一步的变形, 各项指标均达到预期目的。

参考文献:

- [1] 汤康民, 彭胤宗. 岩土工程[M]. 武汉工业大学出版社, 2001.
- [2] 中科院武汉岩土力学研究所. 福宁高速公路八尺门滑坡监测工程月报[R]. 2002.
- [3] 中交第二公路勘察设计院. 福宁高速公路八尺门滑坡方案设计图[R]. 2001.
- [4] 程良奎. 分散压缩型锚杆, 高效预应力结构设计施工实例应用手册[M]. 中国建筑工业出版社, 1998.