

压力型锚索与荷载分散型锚索 在加固工程中的应用

田裕甲 吕兵 黄家齐 唐专林

一、工程概况

桂柳高速公路K412路段路基加固工程位于桂林地区永福县城西km处。路基基脚为浆砌石挡土墙，墙高7~8m。挡土墙顶有1.8m宽人行道，人行道内护墙顶至路肩坡距21m，坡角32°（见图1）。该处路面多处发生坍塌和沉降，坍塌区长46m（K412+80—K412+126）。路面最大

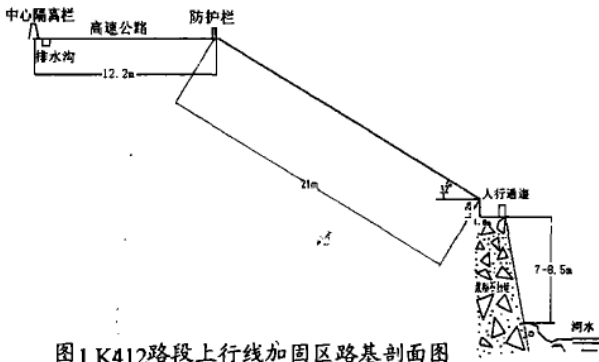


图1 K412路段上行线加固区路基剖面图

下滑体裂缝距路中心线3.2m，裂缝宽2~3mm；距路中心线10.5m的紧急停车带上有四处坍塌，最大坍塌量达50~70mm，裂缝宽度15~50mm（详见图2）。路基基脚挡土墙向外鼓胀，有两处浆砌石已崩落并发生流土。综合以上现象分析可知该段路基处于滑移状态，如果任其发展，路

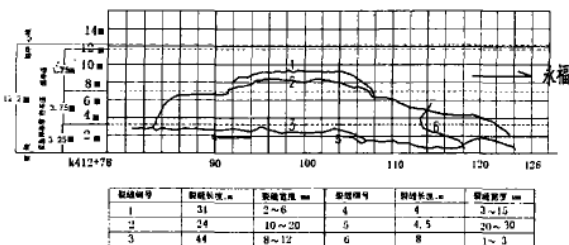


图2 加固区路面裂缝分布图

基下滑，不但将中断桂柳高速公路K412上行线，使其难以修复，而且将导致路基上部山体（古滑坡体）下滑，造成严重后果。受广西交通

厅、桂柳高速公路管理处的委托，柳州OVM工程有限公司承担了路基加固工程任务，通过勘测、稳定分析和设计，决定采用压力型和荷载分散型预应力锚索加固该路基。

二、勘测及设计

经过现场勘测及多方了解得知该路基为半挖半填式道路施工的填方区。根据路面的开裂、下沉情况，分析造成滑坡的原因，参照有关工程的设计参数，通过稳定分析和计算，提出了加固设计方案。

（一）、稳定分析

观察裂缝位置及地形地势，初步确定下滑体滑动范围，经钻孔加固区范围内的工程地质及水文地质资料，表明路基滑动面的位置在填方土体下界面处，确定了滑坡体大小后即可作稳定分析和优化加固设计。钻孔揭示土体基本上从孔口往下依次为填土、粉土、粉质粘土、粉粘夹角砾或风化砂页岩，其间夹有结构松散的薄弱层，即滑动面（详见图3）。在98年6月中旬连降十三天特大暴雨的作用下，大量雨水沿滑动面和混凝土路面与土体接触部位渗流并产生流土，这样，路基在自重荷载和车辆通行荷载的共同作用下开始出现沉陷坍塌。

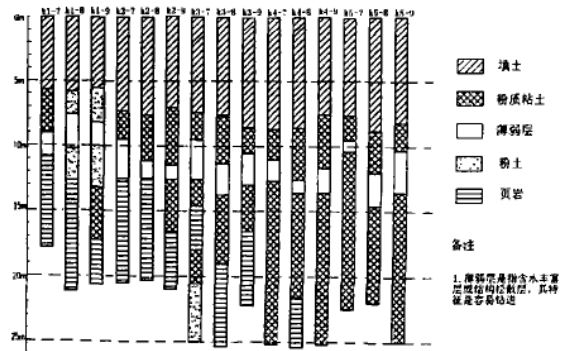


图3 典型剖面钻孔柱状图

取典型剖面（kx-8）进行分析，用实际存在的最大潜在滑动面（详见图4）对初步设计进行

田裕甲 柳州欧维姆建筑机械有限公司 专家
吕兵、黄家齐 柳州欧维姆工程有限公司 工程师
唐专林 柳州欧维姆工程有限公司

修订, 进行最终的稳定分析计算。

稳定安全系数:

$$K = \frac{\sum [W_i \cos(\beta + \theta_i) + T_i \sin(\beta + \theta_i)] \tan \varphi + CL + \sum T_i \cos(\beta + \theta_i)}{\sum W_i \sin \theta_i}$$

土体力学指标取: $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$, $c = 10 \text{ kPa}$,

$\varphi = 19^\circ$

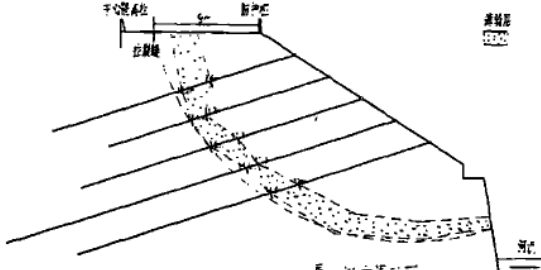


图4 典型剖面 (KX-8) 钻孔资料稳定分析

(a) 圆弧滑动条分法稳定分析

如图5所示, 按照圆弧滑动面进行稳定分析计算:

当张拉荷载 $T_1 = 320 \text{ kN/根}$ 时, $K_1 = 1.29$;

当锚固荷载 $T_2 = 600 \text{ kN/根}$ 时, $K_2 = 1.52$;

(b) 近似折面滑动法稳定分析

将圆弧滑动面简化成等效的折线滑动面, 如图6所示, 进行稳定分析计算:

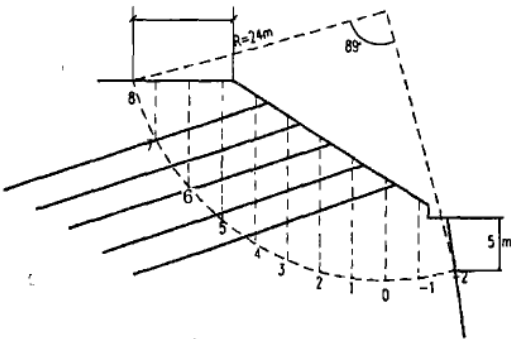


图5 圆弧滑动条分法稳定分析计算图

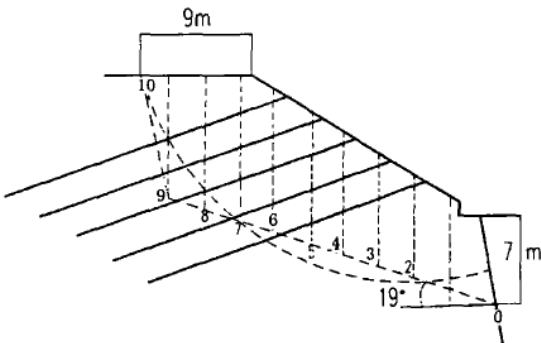


图6 折面滑动法稳定分析计算图

当张拉荷载 $T_1 = 320 \text{ kN/根}$ 时, $K_1 = 1.40$;

当锚固荷载 $T_2 = 600 \text{ kN/根}$ 时, $K_2 = 1.64$;

以上两种计算结果都满足了《岩土工程勘察规范》(GB50021—94)中一级边坡工程的规定。

(二) 加固设计

锚索设计五排, 排间距3.5m; 每排15根锚索, 锚索间距3m。选用1860级无粘结钢绞线, 其破断力为266kN。每根无粘结钢绞线张拉荷载80kN, 安全系数为266/80=3.3; 锚固荷载为150kN, 对应的安全系数266/150=1.8。每排锚索用钢筋混凝土承载梁联系起来协同工作, 钢筋混凝土承载梁为设计承载力600kN的连续多跨梁。

(加固设计平面见图7)

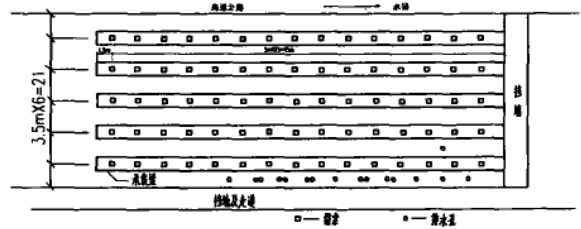


图7 K412路基加固工程竣工平面图

三、锚索结构

由于路基中土层的力学参数指标各不相同, 因此为确保锚固效果, 根据内锚固段设置在不同土层而选用不同的锚索形式——当内锚固段处于承载力较高的风化砂页岩层时, 选用压力型锚索, 结构见图8; 当内锚固段处于承载力较低的粉质粘土层时, 选用荷载分散型锚索, 结构见图9。

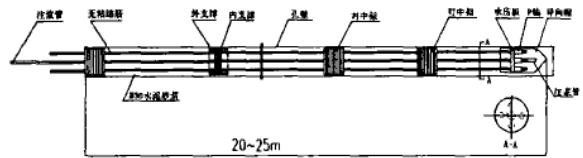


图8 压力型锚索结构示意图

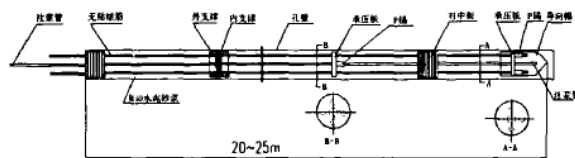


图9 荷载分散型锚索结构示意图

压力型锚索的作用机理: 与传统的拉力型锚

索相比,压力型锚索有明显的优越性。传统的拉力型锚索在张拉时,在锚固段上界面处出现最大粘结摩阻应力,随着张拉力增加,浆体和土体发生受拉、剪切变形而导致浆体被拉裂,最大粘结摩阻应力向下部转移,故而锚固段与土体的边界面上出现渐进性破坏。所以拉力型锚索的粘结摩阻力有明显的应力集中现象,土体抗剪强度得不到充分利用。而且由于浆体被拉裂致使锚索易被腐蚀而失效。而压力型锚索将张拉荷载作用于锚固段下部,粘结摩阻应力形成下大上小的分布,在张拉荷载作用增加时,下部粘结摩阻应力增大到极限后向上部扩散。因注浆材料的抗压弹性模量很大,在受压时长度变化极小,故粘结摩阻应力衰减缓慢,土体抗剪强度得到较充分的利用。而且由于注浆材料受压将锚索紧密地包裹在其中,起到了防腐长效的作用。由以上对比可知:在相同的锚固条件下,压力型锚索比拉力型锚索有更高承载力和更好的耐久性。

荷载分散型锚索的作用机理:锚索中设置两块按一定间距分布的承压板,张拉时荷载通过这两块承压板分层传递给土体,使得整个内锚固段上粘结摩阻应力分布较均匀,从而充分地利用承载力较低土体的抗剪强度,确保锚固效果。

四、施工及监测

(一) 施工

施工工艺主要包括:施工准备,钻锚索孔,制索,锚索就位,注浆,钻排水孔及安装排水管,浇筑钢筋混凝土承载梁,锚索的张拉及封锚。

1、施工准备

- (1) 设备进场,接通水电;
- (2) 按合同要求确定施工范围;
- (3) 测量放线,确定具体孔位。

2、钻锚索孔

在孔位上搭建施工平台,钻机就位后着手钻孔。钻机采用三台XY—100型地质钻机和一台XY—300型地质钻机。孔径150mm,倾角 -15° ~ -20° ,孔深依具体地质条件而定。

3、制索

- (1) 按孔深及锚索结构图下料;

- (2) 按锚索结构图制索;

- (3) 在锚索中间穿注浆管到前端导向帽内。

4、锚索就位

锚索孔成孔后,将锚索用人工抬至孔口,穿索时避免锚索扭转,注意保护好注浆管和钢绞线之PE外套。

5、注浆

采用注浆泵进行低压注浆,在注浆过程中压力表读数保持小于 0.5Mpa 。边注浆边拔管,且保证注浆管始终在浆液面以下。注浆材料选用柳州鱼峰425R普通硅酸盐水泥,中细砂和TQ外加剂,拌制比例为水泥:水:砂:TQ=1:0.4:0.5:0.1,水泥砂浆强度大于 M_{30} 。

6、钻排水孔及安装排水管

根据锚索孔地质资料确定排水孔孔位,在孔位上搭建施工平台,采用两台XY—100型地质钻机钻排水孔,孔径110mm,角度 $+2^{\circ}$ ~ $+5^{\circ}$,孔深12~18m。

成孔后按结构设计图制排水管,安装排水管时注意使没有渗水孔的部位朝下。

7、浇筑钢筋混凝土承载梁

根据设计图削坡、支模、扎筋、浇筑混凝土。钢筋混凝土承载梁每条长46.5m,分两段浇筑,中设一伸缩缝,混凝土强度 C_{20} 。

混凝土浇筑完后,用水泥袋覆盖,定期淋水养护,养护期14天。

8、预应力张拉及封锚

锚索设计中每根锚索的锚固力为600kN,但根据稳定分析计算,每根锚索只需施加一定的张拉力使下滑体处于稳定平衡状态即可满足路基稳定要求,即避免过大的张拉力可能导致裂缝闭合和路基上抬等导致破坏土体结构的现象发生。通过张拉和观察裂缝变化最终选择了320kN作为张拉荷载。

张拉施工程序采用分级、分批对角同时张拉:同一级别张拉时,先张拉里端承压板的两根无粘结钢绞线。张拉选用一台ZB4/500S油泵带动两台并联YC20Q—150型千斤顶。

张拉工艺如下:

岩土锚固

第一级 持荷1min后锁定 → 第二级 持荷1min后锁定
 0.2F_设 测量伸长量 → 1.1F_设 测量伸长量
 F_设=320kN

锚索张拉结束后,从锚板外测量10cm切除多余钢绞线。支模,用1:1水泥砂浆封锚。

(二) 施工监测

严格按《土层锚杆设计与施工规范》以及《钢筋混凝土工程施工及验收规范》施工,工程质量满足了设计和甲方要求。

预应力张拉前,先对千斤顶、油泵、油表进行了配套标定,按标定曲线计算张拉力。张拉时采用“双控法”,以控制油表读数为准,用伸长量校核,伸长值误差控制在+10%~5%的范围内。

在预应力张拉过程中,采用“信息施工法”,即边施工边监测,以测量反馈回的资料指导施工。为此,在施加预应力前全面测量被加固体的高程。锚索张拉锁定后,在路面裂缝上抹上一层水泥砂浆,通过观察其是否变化来判断施加预应力的大小是否合适。从预应力张拉前后的高程变化来看(高程变化见表1),路基面层高程

基本没有变化,达到了加固的目的。

五、排水设施

为了排出路基内的滞水,改善土体力学指标,在第四排锚索与第五排锚索之间根据钻锚索孔所得的地质资料设置了16个排水孔,孔深12~18m,上仰+2°~+5°。排水管结构见图10。

路基坡面经过多次夯实后,具有一定排滞地表水的能力,但为确保坡面不被雨水冲刷流失应尽快种植植被。

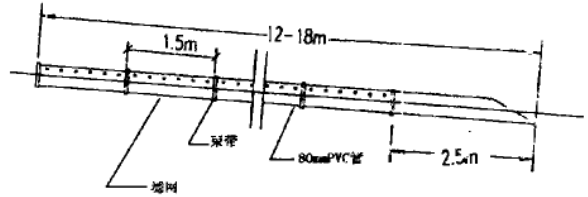


图10 排水管结构示意图

六、结论

在桂柳高速公路管理处的大力支持和配合下,加固工程得以顺利完工,现对该工程加固效果评价如下: (下转第33页)

表1 K412上行线路基下沉记录

桩号	A			B			C			D		
	张拉前标高	施工中标高	张拉后标高	张拉前标高	施工中标高	张拉后标高	张拉前标高	施工中标高	张拉后标高	张拉前标高	施工中标高	张拉后标高
+080	101.687	101.670	101.676	101.543	101.545	101.550	101.211	101.207	101.208	100.927	100.909	100.914
+085	101.783	101.506	101.601	101.487	101.475	101.481	101.175	101.169	101.172	100.881	100.883	100.881
+090	101.514	101.476	101.471	101.403	101.379	101.380	101.131	101.117	101.117	100.833	100.829	100.836
+095	101.408	101.350	101.343	101.416	101.262	101.259	101.053	101.786	101.787	100.781	100.782	100.790
+100	101.353	101.289	101.293	101.199	101.174	101.177	100.983	100.996	100.997	100.733	100.733	100.737
+105	101.291	101.243	101.239	101.168	101.134	101.140	100.929	100.923	100.920	100.676	100.669	100.667
+110	101.223	101.183	101.178	101.160	101.168	101.169	100.899	100.903	100.903	100.614	100.617	100.619
+115	101.148	101.098	101.101	101.164	101.160	101.161	100.858	100.855	100.853	100.545	100.549	100.549
+120	101.113	101.043	101.045	101.107	101.117	101.117	100.802	100.803	100.794	100.489	100.488	100.490
+125	101.157	101.136	101.135	101.066	101.071	101.071	100.725	100.728	100.733	100.400	100.418	100.418
+130	101.167	101.172	101.173	101.002	101.007	101.007	100.670	100.665	100.672	100.356	100.355	100.357

岩土锚固

一点是注浆质量优劣对锚杆的锚固力影响极大;在杂填土、粉土和淤泥质土中,成孔质量十分重要,必要时要用高压水洗孔、扩孔,确保一定的注浆量;在砂卵石土质中,浆液扩展范围有限,要注意增加压力灌浆的稳压时间,必要时可进行一次或多次注浆,注浆压力一般不低于0.6MPa~0.8MPa。

此外,喷锚支护技术还可用于工程事故抢险救灾。在广州065工程基坑倒塌、海口红城湖大厦基坑坍塌、沪宁高速卫岗隧道滑坡、武汉火炬大厦断桩等大型工程事故加固处理中,喷锚支护被证明是简便、实用、可靠、经济的技术措施。

四、结语

基础工程防灾、抗灾应贯彻“预防为主”的战略思想,从方案设计、理论计算、构造保证、施工管理与施工监测等各个环节上“层层设防”,这方面的投入和发生灾害导致的损失以及抢险加固的费用相比是微不足道的;另一方面,发生工程灾害后应及时有效地进行处理,尽可能把灾害损失减小到最低程度,喷锚支护技术可以作为首选抢险加固方案考虑。

本文在分析深基坑喷锚支护和周边构筑物相互影响的基础上,认为控制基坑变形是预防和处埋喷锚支护灾害事故的关键。从工程实践成功的经验和失败的教训中体会到采取必要的预防措施,增加相应的经费投入是十分必要的,变被动处理为主动防治,无论是经济效益还是社会效益都十分显著。

参考文献

1. 深基开挖锚支护技术研讨会 土钉支护设计与施工条例(讨论稿),清华大学,1996。
2. 孙广忠著 工程地质与地质工程,地震出版社,1993。
3. 中国岩石力学与工程学会锚固与注浆技术专业委员会编 中国锚固与注浆工程实录选,科学出版社,1995。
4. 中国岩石力学与工程学会地面岩石工程专委会与锚固与注浆技术专业委员会合编 地面岩石工程锚固与注浆技术学术研讨会论文集,地质出版社,1997。
5. 余志成、施文华编著 深基坑支护设计与施工,

中国建筑工业出版社,1997。

6. 陈希哲 地基事故与预防——国内外建筑工程实例,清华大学出版社,1994。

7. 廖心北、宗周红、Zheng Hongtai “FEM analysis of anchor-guniting supporting structure in deep foundation pits”, Computer Methods and Advances in Geomechanics, edited by Jian-Xin Yuan, Vol 3. P1865~1868, A. A Balkema Published, 1997。

8. 廖心北、宗周红 四川宾馆与地下车库深基坑喷锚支护设计与施工,复合地基理论与实践(龚晓南主编),浙江大学出版社,1996。

(上接第29页)

1、通过勘测查清了路基基本地质资料,找出了路基沉陷坍塌的范围及其原因,提出了合理的加固设计方案。

2、对正在坍塌的滑坡体用75根600kN级锚固力的锚索加固,辅以16根排水管,边坡稳定安全系数为1.52。通过施工监测表明,路基是稳定的。

3、建议高管处对路面上部山体做好排水,以免地表、地下水渗到路基下,影响路基的稳定性。同时要严密监视该部位山体的稳定性,应尽快对其进行加固(见图11),山体一旦下滑将导致严重后果。



图11 加固区古滑坡威胁示意图

另外,路面排水沟由于开裂渗水土体下沉3~6cm,需要对该段排水沟做好防渗处理,确保高速公路正常运行。

4. 工程竣工后,应在路基坡面上尽快种植植被,避免在雨水冲刷下边坡土体流失。