

预应力锚索钻孔抗滑桩结构现场试验研究

曾德荣¹ 王卫花 范草原

重庆交通学院桥梁系, 重庆(400074)

P642.22

TU473.14

提 要 本文对滑坡治理工程的一种新型抗滑结构—预应力锚索钻孔抗滑桩结构的受力状态和抗滑机理进行了现场试验研究。得到了该结构受力及抗滑性的一些规律, 为该类结构的设计和试验提供了来自工地试验的试验依据。

关键词 滑坡治理、抗滑桩、预应力、锚索、结构试验

1 引言

② 钻孔

预应力锚索钻孔抗滑桩是在 80 年代初才发展起来治理滑坡的一种新型有效工程结构之一, 与传统的工程抗滑结构相比, 该结构施工机械化程度高、劳动强度低、总工程量较小, 因此, 施工进度快; 同时这种新型抗滑结构, 开挖工程量小, 对滑坡扰动小, 这对施工过程中的安全保障有较大增加。此外, 该结构对自然环境破坏小, 有利于环境保护。该结构通常利用钻孔灌注或支模浇筑成桩, 在桩上设置一排或多排锚索, 并对锚索施加张拉力(称为预应力), 将桩通过锚索锚固在稳定的岩土中, 以达阻止边坡继续滑动的目的。但是该结构的桩、锚索、土的相互作用关系还有待人们去进行深入的研究。

2 现场试验

2.1 工程简介和现场试验布置

在某汽车一级专用公路的 K219+466~K219+661 段滑坡治理中采用了预应力锚索钻孔抗滑桩这一新型支挡结构。该结构的设计如下:

根据地质勘察报告, 本工程范围沿路线方向全长近 200 米, 沿坡体方向斜长达 150 米, 在路基边缘露出(凌空面)的高度 3~14m。该滑坡是由于路槽开挖而诱发的边坡沿路基剪出滑动而形成滑坡, 根据地勘报告, 可以得到最大滑坡推力 82.4 吨/米, 这里采用的预应力锚索钻孔抗滑桩结构, 共有钻孔桩($\Phi 500\text{mm}$)92 根, 桩间距 2.0m; 桩长 7~16m, 桩身

¹ 曾德荣, 男, 1965 4 出生, 硕士, 副教授

云南省交通厅资助项目

顶部设锚索，桩顶以下部分锚索设 0~2 根，锚定在联系梁上，锚索共 205 根，每根锚索施加 60 吨的预应力，桩之间由联系梁、桩顶锚索和桩身锚索连为一体，桩身外侧设厚度为 20cm 的墙面板，该部份结构总长 182 米（其余部分为普通石砌挡墙），其立面简图如图 1。

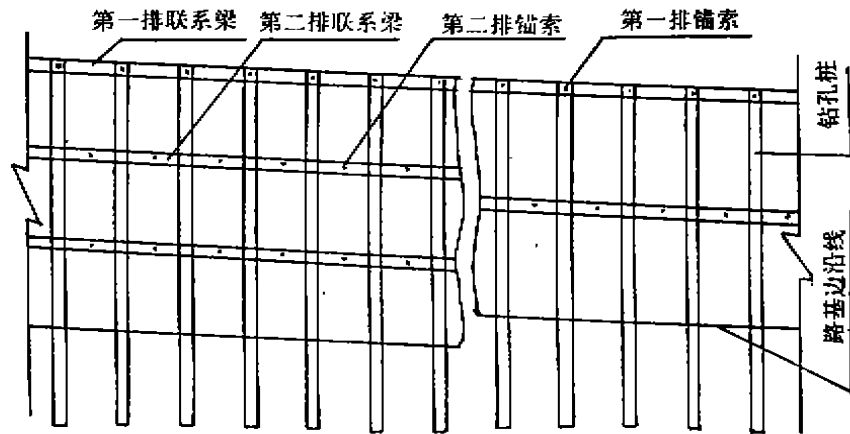


图 1 预应力锚索抗滑桩结构立面图(部分)

为了对该项工程施工过程进行监测和为该类结构的理论研究提供数据，在该项工程的施工过程中，我们在有两根锚索的 65[#]、66[#] 桩的桩身上安装了 10 个应变片，并在这两根桩的每根锚索（每根桩上有两根锚索）上分别安装了 1 个拉力传感器，同时在这两根桩后的每根锚索位置处安装了 1 个土压力盒(如图 2)。

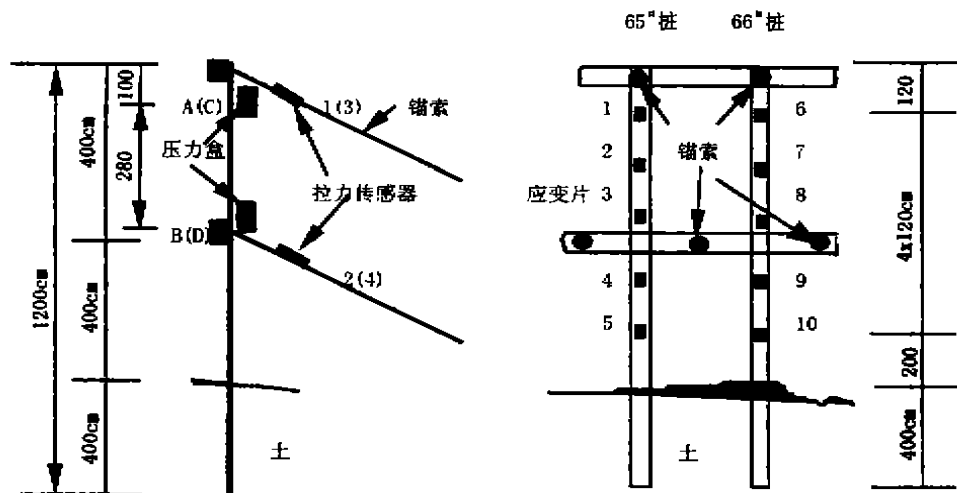


图 2 65[#]和 66[#]桩测试元布置图

还在只有一根锚索的 84[#] 桩的桩身上布置了 4 个应变片和 1 个拉力传感器（如图 3）。

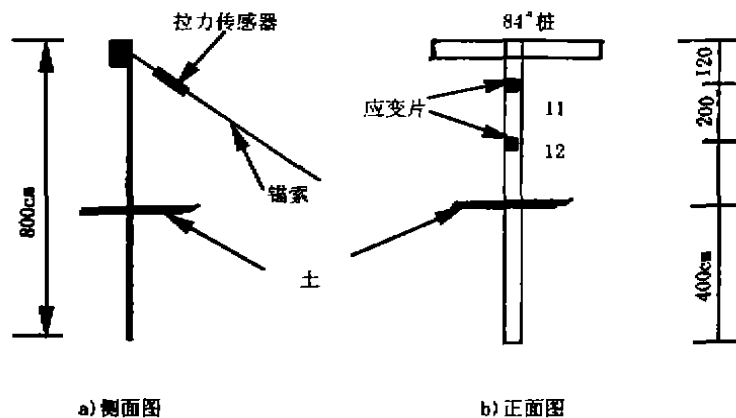


图 3 84[#] 桩监测元布置图

2.2 现场测试数据记录

利用这些试验监测元件，我们获得了在施工期间（桩前出土）、锚索张拉期间及后期土压力的变化情况，进而带来锚索和桩身受力的变化情况。分别见表 1、表 2 和图 4。

表 1 拉力传感器读数记录表（单位：吨）

桩号 日期	65 [#] 桩 1 [#]	65 [#] 桩 2 [#]	66 [#] 桩 3 [#]	66 [#] 桩 4 [#]	84 [#] 桩	备 注
97.5.12						埋入 1 [#] 3 [#] 和 84 [#] 桩传感器
5.30	10.1		10.0		10.1	张拉第一排锚索后
6.5	10.2		10.2		10.3	出桩顶以下 4.0m 至桩底土
6.10	10.8		10.9		11.1	浇筑板至桩顶以下 4.0m
6.17	10.6		10.5		11.3	昨晚下雨，第二排锚索张拉前
	10.6		10.5		11.5	在 68 [#] 桩张拉以前
	10.6		10.4		11.5	在 67 [#] 桩张拉以前
	10.5		10.3	10.0	11.5	在 66 [#] 桩张拉以后
	10.4	10.0	10.2	9.9	11.6	在 65 [#] 桩张拉以后
	10.3	9.8	10.2	9.9	11.8	在 64 [#] 桩张拉以后
6.24	10.4	10.1	10.3	10.0	12.2	
7.1	11.5	11.0	11.2	12.1	13.4	已经下了几次大雨之后
7.15	13.4	14.5	13.1	14.3	14.1	墙面板出现裂缝，坡体后缘出现一条宽达 3cm，长 31 米的裂缝
97.7.29	14.9	15.5	14.8	15.8	15.2	墙面板裂缝宽度明显增加，墙顶后水沟开裂

表2 桩身应变(单位: $\mu\epsilon$)

编 号 日期	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	备注
	读数	读数	读数	读数	读数	读数	读数	读数	读数	读数	读数	读数	
5.4	0	0	0			0	0	0			0		9点初次调零
	-11	-7	-8			-7	-16	3			5		第一次读数
5.6	-38	-11	-12			-97	-37	-23			-3		
5.9	67	87	61			26	27	42			20		
5.12	2	47	11			36	-42	-44			5		
5.15	1	70	-6			-15	-34	-61			-3		
5.17	20	144	30			78	-15	-3			4		
5.19	37	164	42			-12	17	20			5		浇上横梁后3天
5.30	-371	60	-189			166		-235			42		上排锚索张拉
6.3	406	433	161			462	246	123			81		
6.7	-764	-263	-533			216	-409	-585			90		桩前出土后
6.9	1063	602	673	3403	3831	1772	1122	560	3810	4540	124		重新接线
6.10	1324	696	745	3623	3979	2281	1324	630	3967	4637	113		
6.11	1341	699	1006	3606	3975	2356	1390	927	3977	4593	133		浇筑下板测试
6.13	1421	697	1021	3593	3927	2374	1407	848	3967	4534	162	126	
6.16	1490	747	1370	3623	4000	2462	1522	990	3998	4611	160	181	昨晚下雨
6.17	1447	701	1253	3589	4006	2415	1418	950	3965	4573	158	200	下排锚索张拉前
	1463	713	1551	3604	4000	3055	1492	864	4044	4589	170	199	张拉68#以前
	1451	687	1555	3606	4003	3063	1465	832	4033	4574	182	198	张拉67#以前
	1446	700	1551	3595	3990	3063	1479	847	4028	4571	168	204	张拉67#以后
	1444	700	1548	3592	3987	3066	1480	848	3592	4573	189	205	张拉66#以前
	1426	698	1539	3586	3984	3050	1477	845	3586	3984	171	206	张拉66#以后
	1426	695	1537	3586	3984	3047	1475	841	3586	3984			张拉65#以前
	1399	696	1539	3585	3985	3062	1470	837	4018	4567			张拉65#以后
	1398	696	1535	3586	3985	3062	1470	831	4018	4567			张拉64#以前
	1396	692	1535	3588	3989	3058	1466	833	4019	4568			张拉64#以后
	1390	698	1539	3585	3985	3107	1473	840	4019	4568			全部张拉以后
6.18	1422	701	1656	3585	3969	2935	1465	875	4009	4573	201	280	
7.1	1531	786	1773	3697	4071	3045	1559	969	4101	4681	388	521	已下了几场大
7.15	1745	1005	1989	3889	4283	3238	1748	1158	4298	4879	541	789	墙面板出现裂
7.29	2015	1310	2271	4163	4566	3541	2057	1449	4589	5190	822	923	裂缝明显增大

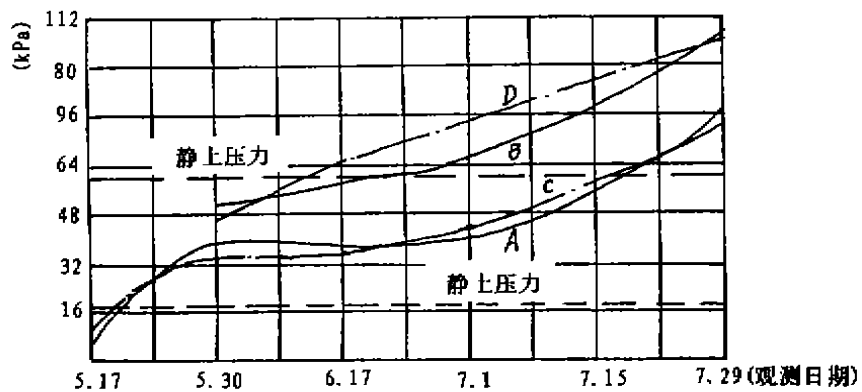


图4 土压力随时间变化图

3 数据分析和结论

3.1 桩身应变情况

1) 首先从表 2 看 65[#]、66[#] 桩身应变: 应变片是在成桩后, 随着桩前的出土、剥桩至第二排锚索孔位置(B 点, 图 5)后才贴上的。显然, 在贴片以前, 桩身可能已经发生了一定的应变。但是, 从表中这些数据中, 还是可以看出后期施工所带来的桩身应力的变化情况: 即对于 65[#]、66[#] 桩有相同的情况, 上排锚索张拉之后, BC 段未出土之前, 桩身的应力有很大的变化: 桩身外侧(贴片侧)受拉, 1[#]片比 2[#]片的应变数(正值)大, 2[#]片比 3[#]片的应变读数(正值)大。对于这些读数可作如下分析:

在 AB 段, 由于土压力和第一排锚索中的预应力的共同作用, AB 段不能用通常设计中所假定的简支或超静定结构, 更不能用悬臂结构来作简单的解释。事实上, 在第一排锚索张拉之前, 下部 3[#]片的位置比上部 1[#]片的位置的受压变形大, 这就是说, 在贴片以前, 这两处发生有不同的压应变, 其值是下部比上部大, 当施加第一排锚索中的预应力后, 改变了结构体系和受力状态, 由受压侧变为了受拉侧, 发生了与原来相反的应变, 只有这些应变抵消原有的压应变之后, 才能从应变片读数中反映出来。

2) 当 B 点以下的土刚出至 C 点(观测日期 6 月 7 日)后, 而第二排锚索尚未张拉预应力, 从应变记录可以看出: 两根桩桩身上的应变几乎都变成负值, 这说明此时的应变减小了, 小到比贴片之前的应变值还小。此时的力学模型: 很可能成为在 C 点锚固、A 点弹性简支的结构, 且此时 BC 段土压力很小。这里有一点是肯定的: 在施工过程中, 桩—锚索—土这个体系的计算力学模型及其它们的值的大小都在发生改变。

3) 从表 2 还可以看出: 在 97.6.9 以后, 几乎所有的应变都呈一致的增加趋势, 这说明桩前出土至最终位置 C 点后, 结构体系不再发生变化, 即使是在第二排锚索施加预应力后, 仍不改变此趋势, 只是第二排锚索预应力的施加, 改善了桩身外侧的受拉状态(即在张拉后应变普遍减小), 但随后又呈增长。这不难解释为, 随着桩前出土工作的完成, 凌空高度较大, 滑体向前滑动或土压力稳定增加。但表 2 中 1[#]、2[#]、3[#]片在此时的应变绝对值是不足以用的, 由于导线的被割, 重接后, 其读数值就发生了较大的误差。

4) 在 97 年 6 月底、7 月初的几场大雨之后, 桩身应变有了急剧的增加, 4[#]、5[#]、9[#]、10[#]片的应变值从最大不到 200 $\mu\epsilon$ 急剧增至 700 $\mu\epsilon$ 以上。说明: 此时不再是土压力的有限增加了, 而是滑坡已经滑动了; 另一方面, 由于雨水渗透在吸水性能极好的土质里(经测定最大含水量达 23%), 滑坡推力有很大的增长。不妨简单估计, 此时的滑坡推力可能仅由于含水量的增加就将增加 13%左右, 加上滑动面的粘结性和摩阻的减小, 又可能使滑坡推力增加。因此, 桩身此时受到急剧增加的推力, 进而产生较大的内力及其相应的应变。

5) 对于只有一根锚索的 84[#]桩的应变情况就简单多了: 从 11[#]、12[#]片可以看出, 在桩身贴片后, 由于呈悬臂状态, 仍然有小量的压应变出现, 当桩顶锚索中施加预应力后, 由于改变了结构体系及其受力状态, 桩身应变出现了正值(受拉), 且随后由于土压力的缓

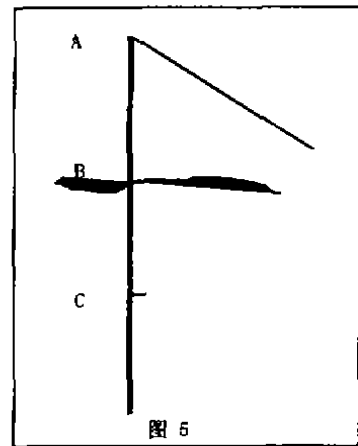


图 5

慢增长, 而拉应变缓慢增长, 直至后面由于滑坡滑动产生巨大推力的时候, 该拉应变才出现急剧增长。

3.2 锚索中的拉力分析

1) 锚索中的拉力, 从表 1 可以看出, 无论是两根锚索的 65[#]、66[#] 桩, 还是单根锚索的 84[#] 桩都有相同的情况: 就是简单地一直增长。这不难理解为在预应力施加之后, 滑坡虽未滑动, 但由于桩前土的移出, 桩后土的凌空高度较大, 土压力或滑坡推力在稳定增加。

2) 相邻左右锚索在预应力施加时, 会有些许相互影响, 但不是很明显。

3) 随着雨水的大量渗入, 滑坡的滑动, 锚索中的拉力急剧增加。这给我们在预应力锚索及其配套元件 (如锚具、锚固段) 的设计中提出了一个应充分重视的问题, 这一点并不象曾经有人认为的那样, 预应力锚索的强度储备可以较低, 直用到 0.7~0.8。

3.3 土压力分析

1) 从图 4 可以看出: 随着其后施工和雨水的渗入, 土压力呈增长趋势, 且后面出现急剧增长, 在 7 月 1 日以后, 其值已超过了静土压力 (计算土压力) 值。说明此后滑坡推力已经存在, 滑坡已经形成, 并且开始活动。

2) 从该图的 A、C 点的土压力在预应力施加 (5 月 30 日) 后均大于静土压力值, 这说明预应力的施加, 对土体有一“主动”反压作用, 同时也改变了土压力的分布规律。特别是当预应力较大时, 这一现象将更为明显。

3.4 预应力、土压力和桩身受力的关系分析

1) 预应力的施加改变了桩身的受拉方向, 由悬臂桩的外侧受压改变为外侧受拉。且由于预应力在桩身有一轴向分力, 且使其受压, 因此预应力的施加对桩身的受力是有利的。

2) 由于预应力锚索改变了桩的力学模型, 使桩由悬臂改变成了 (弹性) 简支, 或一端弹性支承另一端固定的结构, 这也使得桩身在相同的土压力作用下, 桩身的最大弯矩将减小很多, 这一点使桩径减小成为可能。

3) 由于预应力的施加, 对土体产生了“主动”的反压力, 因此改变了土压力的分布规律, 即悬臂桩时的三角形分布, 改变成了此时的近似梯形分布。

4) 由于锚索中的预应力, 使桩前的一部分土体受压, 形成受压区, 同时, 该受压区的岩土力学特性将发生改变, 其 C 、 Φ 值将增大, 这对于边坡的稳定、阻止边坡的滑动是有利的。

参 考 文 献

- [1] 程良奎, 阎莫明. 岩土锚固工程技术. 北京: 人民交通出版社, 1998.
- [2] 王成化, 陈自生. 滑坡研究与防治. 成都: 四川科学技术出版社, 1996.
- [3] YANG H. HUANG 著, 包承纲等译. 土坡稳定分析. 北京: 清华大学出版社, 1988.
- [4] 曾德荣, 范草原. 预应力锚索抗滑桩结构的室内试验研究. 工程力学, 1999, 增刊: 521-525.