



某高速公路锚索桩板墙原型测试与分析

李中国, 赵有明, 张玉芳

(中国铁道科学研究院, 北京 100081)

摘要: 对设有两排锚索的桩板墙进行现场原型试验, 测试了桩身钢筋应力、变形及锚索拉力。将锚索张拉工况记为BI, BII, 并以BI, BII为分界点将填方过程划分为3个工况: AI, AII, AIII。测试数据显示: ①在AI工况, 桩处于悬臂状态, 在填土土压力作用下桩身产生了所有工况中的最大弯矩和大部分桩顶位移, 可见工况的设置对桩的受力影响较大, 最不利工况可能出现在AI工况或其他中间工况; ②BI工况下排锚索张拉完成时桩的弯矩和变形减小的幅度不大, 锚索拉力对减小填土已产生的弯矩和变形作用不明显, 为使桩受力更合理应尽早对锚索张拉; ③AII工况填土引起锁口以上桩身弯矩的增速和AI工况相比明显减小, BII工况在下排锚索处弯矩减小幅度最大; ④AIII工况填土主要引起上排锚索位置附近的弯矩变化。结果表明: 桩的内力及变形受施工工况影响较大, 进行锚索桩板墙设计时, 应对工况进行优化并检算; 为保证施工期间结构的安全, 应对施工工序应进行明确规定。

关键词: 预应力锚索桩板墙; 原型测试; 弯矩分布; 变形

中图分类号: TU476; U417.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2008)05-0739-06

作者简介: 李中国(1979-), 男, 内蒙赤峰人, 博士研究生, 从事路基及边坡稳定方面研究工作。E-mail: lichna2@163.com。

Field tests and analysis of sheet-pile walls with pre-stressed anchors

LI Zhong-guo, ZHAO You-ming, ZHANG Yu-fang

(China Academy of Railway Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: Field tests on the sheet-pile walls in a highway were performed and the stress of steel bar, lateral deformation of test piles and pulling force of pre-stressed anchor cables were observed. The process of anchor-stretching were reckoned as two conditions signed as BI, BII, while the process of filling was divided into three conditions signed as AI, AII, AIII. It was shown that: ① At the end of condition AI, the maximum moment appeared and the most part of displacement at the top of the test piles appeared during construction. So the time of transition from the filling to the anchor-stretching had great influence on the inner force of the piles. The most dangerous state maybe appeared under the condition AI. ② Under the condition BI, the moment value was reduced slightly and the deformation of the piles was restored partly. After anchored, the reduction of the bending moment and the displacement of the top of the piles were unremarkable, so the cables should be loaded as early as possible to make the inner force of the piles more reasonable. ③ The growing rate of the moment in the test piles above the ground descended sharply under the condition AII by contrast with that under the condition AI and the moment of the test piles increased more remarkably near the anchor cables than the moment of other part, furthermore, the most remarkable variation of moment of the piles was found at section of the lower anchor under the condition BII. ④ The variation of the moment of the test piles mainly occurred near the upper anchor under the condition AIII. It was indicated that there was a great effect of the construction steps on the inner force and lateral deformation of piles, so the construction conditions should be optimized and the checking calculation should be done when the piles were designed. In order to ensure the safety of the walls during construction, the construction procedure should be clearly regulated.

Key words: anchor sheet-pile wall; field test; bending moment distribution; deformation

0 引言

预应力锚索桩板墙是一种桩与锚固工程结合的新型支挡结构, 用于路基挡土结构时, 不受一般挡墙高度的限制, 桩上设有预应力锚索, 可减小桩截面的尺寸和埋置深度, 已经成为高填方路堤的主要支挡措施

之一。但其受力模式仍不清楚, 关于桩的设计计算方法, 规范^[1-2]还没有做出明确的规定。现有设计方法^[3-4]

基金项目: 西部交通建设科技项目(2003-318-799-17)

收稿日期: 2007-05-22

还处于摸索阶段, 缺少试验的验证。目前针对预应力锚索桩板墙所进行的现场实验研究^[5-6]还非常少。

为更深入研究预应力锚索桩板墙的受力特性, 在云南省水(富)一麻(柳湾)高速公路 K84+220~K84+385 桩板墙工程中选择试验桩进行施工过程的现场测试, 测试项目有桩内主筋应力、桩的变形及锚索拉力, 分析了桩板墙施工过程中的受力及变形规律, 为完善和改进设计计算方法提供了依据。

1 测试工程概况

水(富)一麻(柳湾)高速公路K84+220~K84+385路肩式桩板墙工程位于云南省昭通市盐津县中和乡境内。该段地形为浅~中切割的中低山斜坡地貌, 自然斜坡表层为坡积碎石土, 褐红色、紫红色, 可塑状, 厚度1~4 m不等, 下伏基岩为三叠系褐红、紫红色泥岩、细砂岩, 呈不等厚互层, 局部夹泥质粉砂岩, 呈强至弱风化, 碎块状。桩坑锁口面以下为基岩, 弱风化。墙后填筑碎石土, 填料内摩擦角约为39°~41°。

试验桩路基横断面如图1所示, 试验桩长24 m, 锁口以上高14.36 m, 桩埋深9.64 m, 间距6 m, 桩身截面1.5 m×1.75 m。桩后安放预制槽型挡土板, 挡土板厚度有0.35 m和0.45 m两种型号。桩上设两排锚索, 每排同一截面设两束, 采用6根公称直径为15.2 mm、强度级别为1860 MPa的钢绞线编束而成。

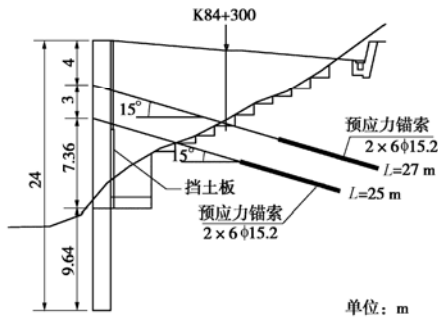


图1 试验桩位置路基横断面
Fig. 1 Cross-section of subgrade

2 测试方法及传感器的布置

2.1 原型测试的方法和内容

预应力锚索桩板墙结构中, 弯矩为桩板墙桩设计的控制内力, 试验采用抗干扰能力强的振弦式钢筋应力传感器对桩身钢筋应力进行测试, 并换算出截面弯矩^[7], 了解桩弯矩的分布及变化。在锚具下安放锚索测力计, 用于测试锚索的预应力变化。在桩的中心预埋测斜管配合测斜探头, 测试整个桩身的变形曲线。用全站仪测量桩顶位移。监测仪器及传感器见表1。

表1 试验仪器和传感器汇总

Table 1 Monitoring devices and sensors				
观测项目	仪器、传感器	单位	数量	备注
钢筋应力	振弦式钢筋应力计	个	26	同一截面授拉受压区主筋各安装一个
桩变形观测	测斜仪	孔	1	测斜管预埋在桩内混凝土中
锚索拉力	振弦式锚索测力计	个	4	安装于锚头于桩之间
桩顶位移	全站仪	台	1	将棱镜固定在桩顶

2.2 传感器的布置和安装

(1) 将钢筋计代替相应位置主筋并与主筋相连, 同一标高桩截面两侧主筋各安装一个, 并在可能出现最大弯矩及锚索作用位置适当加密(见图2)。将填土前的测值作为初值。

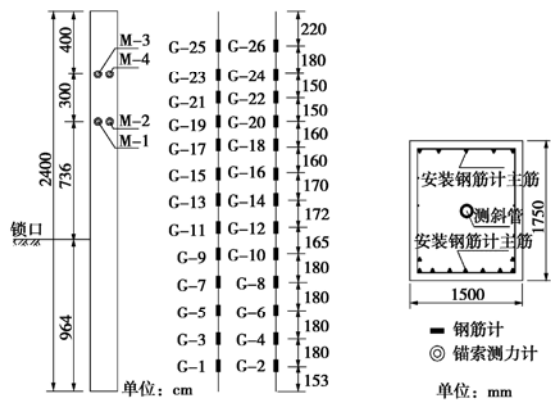


图2 桩内传感器布置

Fig. 2 Arrangement of sensors in the test pile

(2) 测斜管逐段连接好后放入桩内(见图3), 并固定在桩的中心, 在桩底钻2 m深圆孔, 并将测斜管固定在孔内作为测斜的基点。



图3 测斜管安装照片

Fig. 3 Photo of inclinometer tube

(3) 锚索测力计安装前将承压台打磨光滑、平整, 并使测力计轴心方向与锚索倾斜方向平行, 测力计与承压台紧密接触, 以确保锚索测力计受力均匀。下部锚索为第一排, 测力计编号为 M-1 和 M-2, 上部锚索为第二排, 编号为 M-3 和 M-4, 见图4。

(4) 在桩上安装固定式反射棱镜, 应用全站仪观测桩的位移, 并与测斜仪的测试结果进行比较。



图4 锚索测力计安装照片

Fig. 4 Photo of load cells

3 测试结果分析

3.1 试验测试工况的划分

根据桩的受力变化特点将施工过程划分为填土工况 A 和锚索张拉工况 B。第一排锚索张拉为 B I 工况；第二排锚索张拉为 B II 工况；B I 工况前的填方施工为 A I 工况；B I 工况和 B II 工况间的填方施工为 A II 工况；B II 工况后的填方施工为 A III 工况。这样两排锚索桩板墙的施工划分为 A I, B I, A II, B II 和 A III 共五个工况。

3.2 各工况测试结果

(1) A I 工况

本工况为桩处于悬臂状态下的填土施工工况，在不同填土高度时共进行 9 次观测，观测次序为 A I₁~A I₉，其中 A I₁~A I₇ 观测时的填土高度分别为 3.26, 4.94, 5.39, 6.55, 6.60, 8.31, 9.46。在 A I₇ 观测后发现试验桩附近填筑未达到要求，所以清除上部 1.35 m 不合格填方并重新填筑，A I₈, A I₉ 工况观测时的填方高度分别为 8.11, 9.06 m。

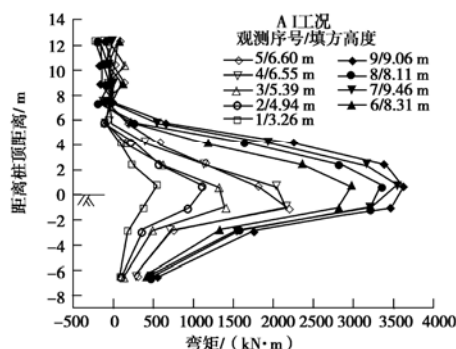


图5 A I 工况桩身弯矩随填土高度变化曲线

Fig. 5 Variation of the bending moment of test pile with the filling height under condition A I

图 5 为桩悬臂状态下不同填土高度时的桩身弯矩分布曲线。该图表明：①随着填土高度的增加桩身的弯矩逐渐增加，桩身弯矩最大位置位于锁口上方靠近

锁口，弯矩最大值为 3614 kN·m，锁口以下弯矩随深度增加急剧减小；②图中显示出填土面以上的桩身弯矩的随着填土高度的变化而变化，这是由于在换算填土面以上桩身弯矩时，采用平截面假定所造成的结果。

图 6 为 A I 工况观测到的桩变形曲线。随着填土高度的增加位移值也越来越大，桩顶位移的变化速率逐渐增加；在 A I₇ 工况的桩顶位移为 23 mm，之后虽然清除了上部部分填方，但桩顶位移并没有减小，在 A I₉ 时，桩顶位移为 26 mm。当填土减小一定的高度时，桩受填土的约束作用其变形是不可逆的。

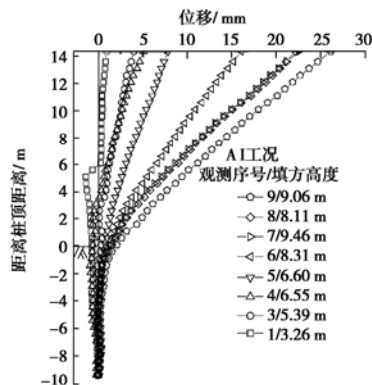


图6 A I 工况桩身变形随填土高度变化曲线

Fig. 6 Variation of the deformation of test pile with the filling height under condition A I

(2) B I 工况

当填土高度为 9.06 m 时，开始进入下排锚索张拉施工工况 (B I 工况)。于 2006 年 7 月 26 日采用两台千斤顶对两束锚索进行同步张拉并测试。每束锚索拉力分级施加，每级荷载约为 100 kN，计划锁定荷载为 500 kN，其中一束的实际锁定值为 474 kN，另一束在锁定过程中的预应力损失较大，锁定荷载为 434 kN，2006 年 7 月 29 日对此束锚索补张拉锁定至 468 kN，并对试验桩右侧相邻的桩加载。

图 7, 8 为锚索加载工况桩身弯矩的分布曲线和桩身变形观测曲线，表 2 为 M-1 和 M-2 锚索张拉时截面最大弯矩随各级荷载的变化。图 7 和表 2 表明：①随着张拉荷载的增大，截面最大弯矩逐渐减小，最大截面弯矩由 3666.5 kN·m 减小为 3438.5 kN·m，减小 6.2%，加载对锁口 1 m 以下的桩截面弯矩影响极小；②在加载锁定后的最初 3 d 内，桩顶位移和桩身弯矩仍在减小，最大弯矩截面由原来的锁口以上 G-11、G-12 截面的 3423.6 kN·m 变为锁口下 G-9、G-10 截面的 3321.9 kN·m，减小 2%。7 月 29 日张拉结束后至 8 月 25 日，锁口以上桩身弯矩继续减小，G-11、G-12 截面的弯矩 3264 kN·m 减小为 2929.5 kN·m，

表 2 桩截面最大弯矩随加载及时间变化

Table 2 Variation of the maximum bending moment with the load of the lower anchor and time

日期 (2006 年)		0726						0729			0825
观测序号		B I ₁	B I ₂	B I ₃	B I ₄	B I ₅	BI ₆	BI ₇	B I ₈	B I ₉	B I ₁₀
锚索拉力 /kN	M-1	1.3	104.8	288.9	396.5	551.3	433.8	425.7	471.4	471.5	453.5
	M-2	-1.9	100.6	290.6	399.8	551.3	474.4	468.3	467.4	467.1	449.1
截面弯矩 /(kN·m)	G-11,G-12	3666.5	3627.5	3538.6	3485.5	3407.8	3423.5	3275.9	3268.9	3264.1	2929.5
	G-9,G-10	3547.0	3527.0	3459.9	3422.8	3371.2	3378.8	3321.9	3319.5	3307.0	3306.8

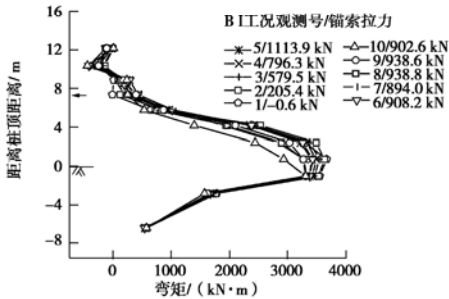


图 7 B I 工况桩身弯矩随锚索预应力变化曲线

Fig. 7 Variation of the bending moment of test pile with the anchor load under condition B I

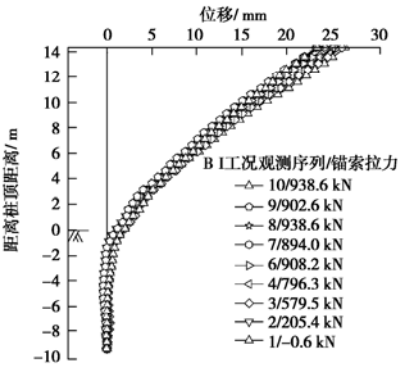


图 8 填土工况桩身变形的曲线

Fig. 8 Variation of the deformation of test pile with the anchor load under condition B I

减小 10.2%。可见在锚索张拉锁定后桩身弯矩和锚索拉力仍在一段时间内有一个调整的过程。

(3) A II 工况

本阶段共计进行 4 次观测 (见表 3)。

表 3 A II 工况

Table 3 Cases of filling for conditions A II

日期 (2006 年)	0913	0927	1018	1022
观测序号	A II ₁	A II ₂	A II ₃	A II ₄
填土高度/m	10.30	10.66	11.56	11.76

图 9 为 A II 工况填方过程桩身弯矩分布曲线。该图表明在锚索加载锁定后, 填土高度增加截面最大弯矩位置没变, 最大弯矩由 3306.8 kN·m 增大为 3523.3 kN·m, 增大了 6.5%。填土高度由 9.06 m 增加至 11.76

m 时, 锚索预应力分别由 8 月 25 日的 453.5 kN 和 449.1 kN 增加至 488 kN 和 482.6 kN, 分别增长了 7.8% 和 7.2%。可见随着填方增高, 锚索拉力和桩身弯矩都将增加, 而且增加的比例相近。

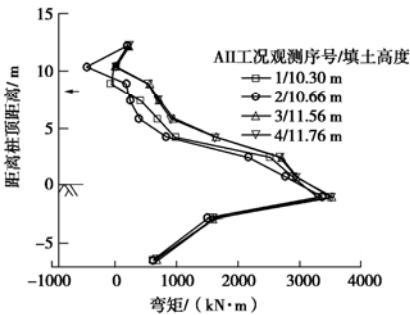


图 9 A II 工况桩身弯矩随填土高度变化曲线

Fig. 9 Variation of the bending moment of test pile with the filling height under condition A II

下排锚索加载后现场实测桩顶位移为 23.3 mm, 至 A II₄ 工况时桩顶位移为 23.7 mm, 所以锚索加载后明显地限制了桩顶位移的增加。

(4) B II 工况

第二排锚索加载仍采用两束锚索同步逐级加载的方式施加预应力, 加载于 2006 年 10 月 22 日完成。计划锁定荷载为 550 kN, 实际锁定为 531.3 和 526.7 kN。共进行 8 次观测, 各次观测主要结果见表 4。

图 10 为第二排锚索逐级加载过程桩身弯矩分布曲线。此图表明第二排锚索逐级施加的荷载引起锚索位置附近的弯矩变化不大。而在锚索位置以下 2~6 m 范围引起的弯矩变化明显, 其中在第一排锚索作用位置产生的弯矩变化最大, 由加载前的 706.8 kN·m 变为加载后的 12 kN·m。本次加载对桩身最大弯矩影响有限, G-9, G-10 截面弯矩由加载前的 3523.3 kN·m 减小为 3438.7, 减小约 2.4%。上排锚索加载引起桩顶位移变化较小, 测斜仪现场实测加载后桩顶位移变化为 -2.3 mm。全站仪观测位移变化为 -3 mm。

(5) A III 工况

图 11 为第二排锚索锁定后填土过程桩身弯矩分布曲线。图中表明本阶段填土引起桩底至锁口上 4 m 范围内的弯矩变化不大。在工况 A III₁~A III₂ 过程中

表 4 锚索张拉对弯矩及下排锚索拉力的影响

Table 4 Variation of the maximum bending moment and load lower anchor of with the load of the upper anchor									
观测序号		B II ₁	B II ₂	B II ₃	B II ₄	B II ₅	B II ₆	B II ₇	B II ₈
锚索预应力/kN	M-1	488.0	487.2	486.5	486.0	484.9	483.6	481.2	480.9
	M-2	482.6	482.5	482.4	482.0	481.7	481.2	479.8	479.2
	M-3	0	118.7	216.0	297.3	404.0	493.3	624.2	531.3
	M-4	0	117.5	206.7	297.9	404.6	509.6	637.0	526.7
截面弯矩 /(kN·m)	G-11,G-12	2940.1	2914.5	2888.7	2868.2	2837.6	2802.3	2762.8	2760.7
	G-9,G-10	3523.3	3510.6	3495.2	3486.0	3473.5	3456.7	3437.9	3438.7

表 5 锁口弯矩和锚索预应力随填土高度的变化

Table 5 Variation of bending moment and anchor load with the filling height										
时间	2006 年						2007 年			
	1022	1026	1029	1106	1127	1217	0119	0303	0313	0324
观测序号	AIII ₁	AIII ₂	AIII ₃	AIII ₄	AIII ₅	AIII ₆	AIII ₇	AIII ₈	AIII ₉	AIII ₁₀
填土高度/m	11.8	11.8	12.4	12.8	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7
锚索预应力/kN	M-1	480.9	475.7	476.3	476.7	479.3	481.3	485.2	486.9	485.0
	M-2	479.2	477.5	472.5	470.1	468.9	467.5	476.5	479.5	478.3
	M-3	531.3	520.9	516.1	510.5	506.2	505.7	511.4	504.9	501.7
	M-4	526.7	509.9	502.0	496.4	490.7	491.8	499.3	493.9	490.3
截面弯矩/(kN·m)	G-11,G-12	2556.5	2539.7	2510.7	2347.7	2007.1	1777.0	1976.1	1998.4	2002.3
	G-9,G-10	3365.6	3403.3	3441.8	3433.3	3124.8	2905.6	3151.6	3080.7	3094.6

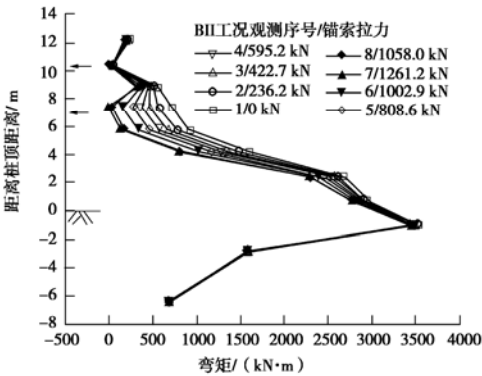


图 10 B II 工况桩身弯矩随锚索荷载变化曲线

Fig. 10 Variation of the bending moment of test pile with the anchor load under condition B II

填土高度未增加,随着时间推移,下排锚索位置附近出现了负弯矩(河侧主筋受拉)并增大,说明锚索拉力随着时间的变化仍然对桩产生作用,产生负弯矩绝对值最大为 748 kN·m。在随后的工况中填土作用使填土面至第一排锚索位置处的弯矩正向增加。最终填土高度在 13.72 m 时,负弯矩位于 G-15, G-16 截面,为-259.4 kN·m。表 5 表明本工况锚索预应力及桩身正弯矩最大值在填土施工时逐渐减小,在填土完成后的 20 d 降至最低,其中锚索拉力减小了 3.6%,桩身 G-9, G-10 截面正弯矩最大值减小了 13.7%。随后桩身弯矩和锚索预应力随时间变化而略有增加。在锚索预应力及填土的共同作用下,最终弯矩最大值比 B II 工况结束时减小 8.6%。

2006 年 11 月 27 日完成路基部分填筑 (AIII₅),

填土高 13.72 m,桩顶位移 21.5 mm。桩顶位移最大值出现在 AIII₆,实测桩顶位移为 26.8 mm。2007 年 3 月 24 日,实测桩顶位移为 20.3 mm,观测序号 AIII₁₀。

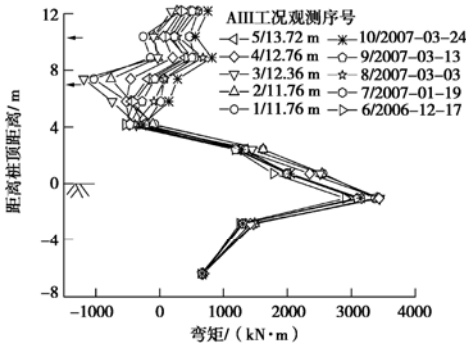


图 11 A III 工况桩身弯矩随填土高度变化曲线

Fig. 11 Variation of the bending moment of test pile with the filling height under condition AIII

4 各工况测试结果的对比分析

- (1) A I 工况为桩身弯矩和桩顶位移的主要产生阶段,在此工况中出现了整个路基填筑过程中的弯矩最大值。本工况结束时桩处于最不利受力状态。
- (2) 在 B I 工况中,桩身弯矩和桩位移都在减小,减小幅度分别为 6.2%和 7.6%,两者减小的幅度相近。在加载后 25 d 内,桩的弯矩仍有减小,最大降低幅度 10%。最大弯矩截面向下移,由锁口上方移至锁口下,桩、锚索和桩周岩土的作用不是在瞬间完成的,有一个调整的过程,这个过程也不排除存在人为扰动、降雨等外在因素的影响。桩身弯矩减小的

范围主要在第一排锚索以下至锁口下 1 m 的范围内。

(3) A II 工况中桩身弯矩和桩顶位移继续增大, 填土高度增加 2.7 m, 最大弯矩增加了 216.5 kN·m, 桩顶位移增加了 0.7 mm, 同一截面在 A I₅~A I₇ 过程中, 填土高度增加了 2.86 m, 弯矩增加了 2036 kN·m, 桩顶位移增加了约 20.0 mm。弯矩增幅明显减小, 锚索对桩身弯矩和桩顶位移增加的控制作用明显。

(4) B II 工况同 B I 工况类似, 锚索拉力使桩身和桩顶的位移减小, 但减小的范围主要在第一排锚索以下 2~6 m, 其中弯矩变化最为明显的位置为 5.8 m 处, 弯矩减小 791 kN·m。产生这种情况的原因为: 锚索力的施加使桩向山侧变形, 引起桩后填土土抗力的增加, 使锚索力引起桩身弯矩减小数量有限。第二排锚索张拉引起第一排锚索拉力的变化不超过 2%。

(5) A III₁, A III₂ 为 B II 加载结束至开始填土前的两次观测, 测试数据表明, 加载结束后的 4 d 内, 在第一排锚索位置处负弯矩增加, 桩身的正弯矩均有小幅减小。随着填方高度的增加, 填土面至第一排锚索下 3 m 位置范围内正弯矩增加, 该范围以下的桩身弯矩变化很小。可见, A III 工况对桩身弯矩的影响主要在两排锚索位置附近的一定范围内, 对桩身其他部分弯矩的影响极不明显。

(6) 不论 A 工况还是 B 工况, 在其结束后一段时间内桩身内力和变形仍然有变化, 这说明锚索和桩的受力有时间效应。

5 结论及建议

(1) 作为桩身设计主要控制内力—弯矩, 其最大值出现在下排锚索张拉 (B I) 前, 而不是在最终工况。同理当工况设置变化时也可能出现在其他工况。因此锚索桩板墙的设计应包括不同工况的分析。

(2) 在悬臂状态下, 填方引起的桩的变形和内力的速率随着填方高度增加而增大, 而在锚索起作用后桩的变形速率将大大减小, 锚索对支挡结构本身和路堤的变形约束作用是明显的, 这种结构适宜应用在变形要求严格的支挡工程当中。

(3) 锚索桩板墙的作用是支挡填土引起的土压力, 土压力对桩来说产生正向弯矩 (山侧主筋受拉) 而锚索对桩来说产生反向弯矩, 结构受力应该是锚索作为主要受力构件, 应最大限度地平衡土压力产生的弯矩。数据表明, 土压力对桩产生作用以后, 锚索再张拉只少量地减小了桩身的弯矩; 因此, 在施工过程中应尽早发挥锚索的作用, 尽可能将张拉锁定的时间提前, 以求在结构尺寸不变的情况下结构受力最合理。

(4) 桩、锚索、填土和锚固体的相互作用是相

当复杂的系统, 而且随时间变化而变化, 特别是运营其间还需加强观测, 进一步分析研究相互作用的机理和随时间变化的流变特性。

参考文献:

- [1] JTG D30—2004 公路路基设计规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004. (JTG D30—2004 Specifications for design of highway subgrade[S]. Beijing: China Communications Press, 2004. (in Chinese))
- [2] TB10025—2001 铁路路基支挡结构设计规范[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2001. (TB10025—2001 Code for design on retaining engineering structure of railway subgrade[S]. Beijing: China Railway Publishing House, 2001. (in Chinese))
- [3] 何昌荣, 富海鹰, 李 彤. 新型预应力锚拉式桩板墙的弹性约束地基系数法[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(7): 1196 - 1202. (HE Chang-rong, FU Hai-ying, LI Tong. Subgrade reaction coefficient method of new-style prestressed anchor sheet-pile retaining wall with elastic restraint[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2003, 22(7): 1196 - 1202. (in Chinese))
- [4] 李海光, 周德培, 李安洪, 等. 新型支挡结构设计工程案例[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004: 336 - 340. (LI Hai-guang, ZHOU De-pei, LI An-hong, et al. Design and case studies of new type support structure[M]. Beijing: China Communications Press, 2004: 336 - 340. (in Chinese))
- [5] 富海鹰, 何昌荣. 新型预应力锚拉式桩板墙的原型观测分析[J]. 岩土工程学报, 2005, 27(9): 1054 - 1050. (FU Hai-ying, HE Chang-rong. Prototype measurements of a new prestressed sheet-pile retaining wall[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2005, 27(9): 1054 - 1050. (in Chinese))
- [6] 张续萱, 魏殿兴. 锚定板挡土结构的实测土压力及其分析研究[J]. 岩土工程学报, 1994, 16(2): 73 - 79. (ZHANG Xu-xuan, WEI Dian-xing. Measurement and analysis of earth pressure in anchor slab retaining structures[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1994, 16(2): 73 - 79. (in Chinese))
- [7] 焦志斌, 刘永绣. 地下连续墙测试中弯矩的计算方法探讨[J]. 岩土工程学报, 2006, 28(增): 1485 - 1488. (JIAO Zhi-bin, LIU Yong-xiu. Calculation methods of bending moment in diaphragm wall tests[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2006, 28(S): 1485 - 1488. (in Chinese))