

利用真空预压技术处理深圳河 一期工程边坡及其施工监测*

魏旭辉¹, 董志良², 赵维军²

(1. 广东省水利电力勘测设计研究院, 广州 510170; 2. 交通部四航局科研所, 广州 510230)

摘 要: 在治理深圳河一期工程中, 利用真空预压技术成功地对边坡区进行了软基加固处理, 提高了边坡开挖的稳定性, 取得了非常好的加固效果, 在边坡开挖过程中按信息法施工, 充分利用各种监测手段, 保证了边坡开挖的安全。

关键词: 边坡处理; 真空预压; 堆载预压; 施工监测

中图分类号: TV51 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2001) S2-0043-05

1 工程概况

深圳河一期工程主要包括两个裁弯取直段, 即桩号 4+040~5+700 段(福田—落马洲裁弯段)和 8+100~9+826.643 段(渔农村—料堂裁弯段), 其中 4+040~4+804 段堤坝和边坡处于滨海相和海陆相交互沉积的软基上, 该处软弱地基承载力低 (41.9 kPa), 压缩性高, 不能快速进行筑堤和边坡开挖施工, 需要进行加固处理。

根据设计, 从里程桩号 4+040~5+500 之间新开挖一条底宽为 98~105 m、顶宽为 157~188 m、深度为 8.3 m、长约 1.5 km 的新河道(见图 1), 用于替代河道弯曲、河床狭窄、长约 3.5 km 的旧河道, 从而提高深圳河的防洪排污

及通航能力。一期工程的工期非常紧, 如采用常规的堆载预压法, 需要进行长历时分级填筑堤坝和开挖边坡, 总的工期需要 3 年, 为了缩短工期提高效果, 在施工中采用了先在边坡区和堤坝区分别采用打设塑料排水板作为竖向排水通道, 再进行真空预压和分级筑堤加压, 然后再进行河道边坡开挖的替代方案(图 2 和图 3), 将原设计的 3 年工期缩短为 2 年。软基处理施工从 1995 年 5 月开始至 1996 年 6 月结束。

为了确保河道边坡开挖的稳定及堤坝填筑的安全, 在河道边坡及堤坝下设置了包括垂直沉降、水平位移、孔隙水压力和地下水位等四种计 188 个土力观测仪器, 用于指导和监控施工。

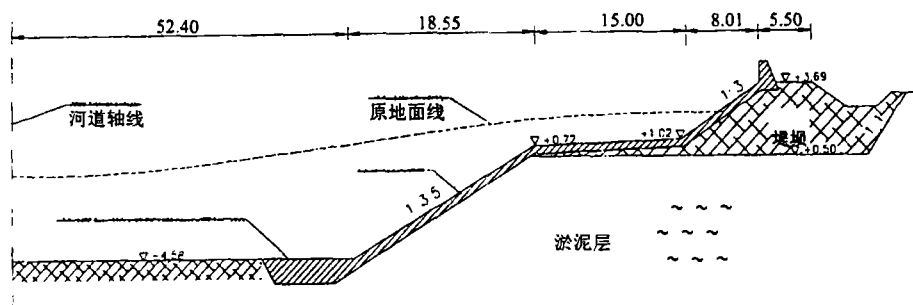


图 1 河道形成典型断面图

* 收稿日期: 2001-07-30; 作者简介: 魏旭辉 (1971-), 男, 工程师。

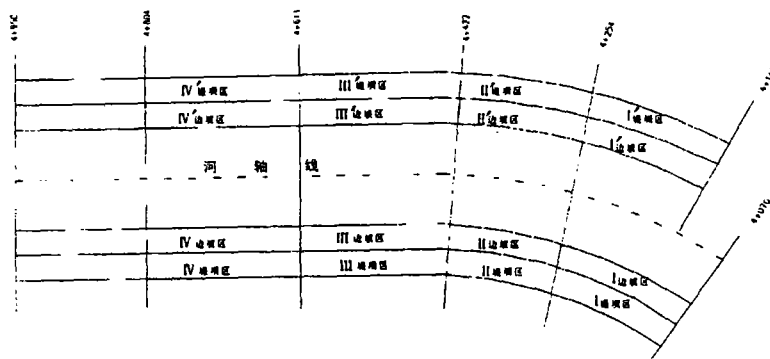


图2 边坡区和堤坝区软基处理平面图

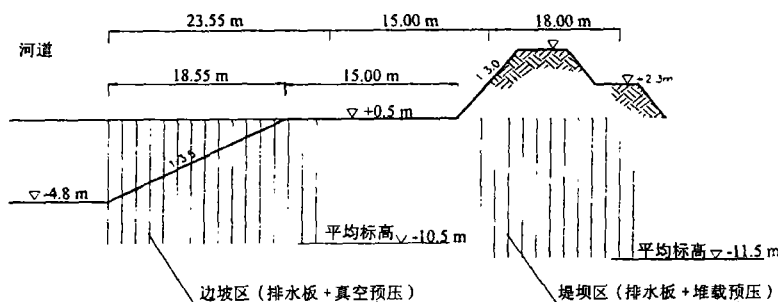


图3 边坡区和堤坝区软基处理剖面图

2 工程地质条件

2.1 地貌

一期工程落马洲工区地处深圳河一级阶地的中上段,上部为第四系全新世冲、洪积层及滨海相沉积层,下部为侏罗纪砂、页岩与燕山三期花岗岩。地形平坦,多为鱼塘,表层除西部有近期人工填土外,其它场地多为鱼塘和沼泽所形成的淤泥、草地、塘埂、土堆等。该层淤泥日晒干涸变硬,遇水变为烂泥,人员和机械难于行走。

2.2 地质状况

该区域土层从上至下可分为:

(1) 淤泥层(表层为排水干涸后的塘泥):灰-灰黑色,软-流塑状,上部淤泥混含砂粒、贝壳及腐殖质,砂粒成份多见这粉细砂、中砂透

镜状的砂夹层,其厚度一般为0.5 m,少数可达1 m。

(2) 淤泥质粘土-亚粘土层:淤泥向下渐变成淤泥质粘土-亚粘土层,灰-灰黑色,多层软塑状,少量呈流塑状态,淤泥质粘土粘性好,透水性差;淤泥质亚粘土中常有中细砂颗粒及混合细砂薄层。

(3) 亚粘土-亚砂土层:呈灰色、灰黄色,呈可塑状。

(4) 中粗砂、砾砂层:灰白色、土黄色,厚度大于3 m。

以上土层中(1)~(3)层是软基处理的主要软土层,总厚度为8~11 m。各土层的物理力学性质指标如表1所示。

表1 主要土层物理力学性质指标

土层名称	含水量 $w(\%)$	湿重度 $\gamma(\text{kN/m}^3)$	孔隙比 e	饱和度 $S_r(\%)$	液限 $W_L(\%)$	塑性指数 I_p	渗透系数 $K_v(\text{cm/s})$	压缩系数 $a_{v100-200}(\text{MPa})^{-1}$	压缩模量 $E_{s100-200}(\text{MPa})$	固结系数 $C_v(\text{cm}^2/\text{s})$	抗剪强度 (总应力) $C(\text{kPa})$ $\varphi(^{\circ})$	
淤泥	(67.0) 60.9	16.4	(1.81) 1.65	98.6	47.8	19.7	$1.74 \times 10^{-7} \sim$ 5.60×10^{-8}	(1.77) 1.31	1.73	4.24×10^{-4}	(4.0) 5.3	(2.3) 4.5
淤泥质粘土 ~亚粘土	(53.8) 46.0	17.5	(1.48) 1.25	98.0	36.9	14.3	$1.91 \times 10^{-7} \sim$ 6.41×10^{-8}	(1.29) 0.92	2.31	4.92×10^{-4}	(5.0) 6.8	(2.0) 7.6
亚粘土	28.2	19.6	0.77	98.5	32.1	11.7	1.13×10^{-7}	0.67	2.89	7.24×10^{-4}	20.0	11.1
亚砂土	31.3	18.5	0.90	93.1	21.3	6.2	2.92×10^{-7}	0.57	2.94	1.12×10^{-3}	5.0	28.8
中细砂(中上部夹 层),中粗砂(下部)	18.7	18.9	0.67	71.8				0.13	13.30	$4.71 \sim$ 8.10×10^{-3}		

3 利用真空预压技术处理深圳河一期工程边坡

3.1 边坡区真空预压施工

一期工程岸坡按相对位置分为边坡区和堤坝区,边坡区要按1:3.5的比例开挖成河道边坡,而堤坝区要最终形成挡水的堤坝,针对边坡区和堤坝区的不同特点,在软基加固设计时对边坡区采用了塑料排水板结合真空预压的加固方案,对堤坝区采用了塑料排水板结合堆载预压的加固方案(见图3)。

边坡区真空预压按以下程序施工:

(1) 首先对两岸23.55 m宽的边坡加固区和18 m宽的堤坝加固区进行场地整平,达到+0.5 mY.S.D标高左右。

(2) 由于边坡加固区为旧鱼塘,场地十分软弱,因此采用小型湿地推土机摊铺约0.65 m厚中、粗砂垫层,在堤坝加固区铺设约0.4 m厚中、粗砂垫层。

(3) 施插SPB-1型排水板,按1.2 m间距、正方形布置,在边坡加固区施打至距下卧砂层上面0.5 m左右,在堤坝加固区塑料排水板施插至下卧砂层内1 m左右。

(4) 对边坡加固区分块设施真空预压,每块长约200 m,宽为23.55 m,南北两岸各4个单元块。对每一个单元块砂垫层上先埋设真空主管和支滤管,在单元块四周挖出密封沟,然后铺设密封膜和将真空主管进行出膜边接,在出膜的同时安装真空泵系统,最后开始抽真空调试,对于膜体局部漏气的地方加以修补,使膜下真空度持续上升至80 kPa。

(5) 维持真空预压单元块膜下真空度80 kPa 3个月以上,或当平均固结度达到80%以上,各单元块卸载,进行边坡河道开挖。

3.2 真空预压技术处理边坡效果分析

(1) 表层沉降分析

竣工卸载后各单元块的沉降量如表2所示。

表2 边坡加固区各单元块沉降量

单元块	膜下真空度 (kPa)	80kPa 以上天数	最大沉降量 (cm)	最小沉降量 (cm)	平均沉降量 (cm)	最终沉降量 (cm)	固结度(%)
I	93	83	42.6	1.2	18.0	19.4	92.9
II	80	114	70.4	38.7	53.5	55.5	96.4
III	80	112	79.0	40.0	58.9	73.4	80.3
IV	88	93	57.9	31.6	47.2	58.5	80.7
I'	83	94	24.3	10.7	16.0	17.8	89.0
II'	83	95	81.0	27.0	54.0	55.4	97.5
III'	80	115	74.0	33.9	50.7	51.0	99.5
IV'	84	103	59.5	37.0	46.9	48.4	96.9

从上表可以看出,I和I'两单元块沉降较小,除该两块地质条件较好外,部分沉降标桩可能埋设在原鱼塘纵横交错的塘堤上。其它各单元块的平均沉降量都在46.9 cm以上,固结度都超过

80.3%,反映出排水板真空预压的固结情况较好。

(2) 孔隙水压力分析

各块埋于软土层中的孔隙水压力测点,标高

-2.0 m 左右的负超静孔隙水压力在 39.1 kPa ~ 78.4 kPa 之间; 标高 -4.5 ~ -5.0 m 处的测点, 除 IV 块和 IV' 块的负超静孔隙水压力较小外, 其它都在 32.1 ~ 77.5 kPa 之间; 标高 -7.0 ~ -8.0 m 处的测点, 除第 I 块为 57.0 kPa 外, 其余各块都在 43.0 kPa 以下. 各块负超静孔隙水压力值的变化都从属于膜下真空度的变化.

(3) 地下水位资料分析

在各块抽真空以后, 地下水位都明显地降

低, 在真空压力维持 80 kPa 以上的期间, 水位下降最大的达 -3.73 mY.S.D, 自预压区外由远向近的水位标高呈逐渐下降规律, 预测在单元块内的水位可下降至 -5.0 ~ -6.0 m Y.S.D.

(4) 十字板剪切强度比较

将各块十字板剪切强度按深度进行统计, 加固前后的十字板剪切强度值如表 3 所示. 经真空预压后, 各块强度都有明显提高.

表 3 加固前后十字板剪切强度比较

单元块	深度(m)	加固前平均值(kPa)	加固后平均值(kPa)	强度增长值(kPa)	增长率(%)
I、II、III、IV	0 ~ -4.5	18.46	23.16	4.71	25.5
	-4.6 ~ -8.5	9.26	17.64	8.38	90.4
	-8.6 ~ -10.5	48.79	52.63	3.84	7.9
I'、II'、III'、IV'	0 ~ -4.5	17.54	26.94	9.40	53.6
	-4.6 ~ -8.5	13.77	19.94	6.16	44.7
	-8.6 ~ -10.5	32.16	52.27	20.11	62.5

4 边坡施工监测

4.1 监测仪器布设

为了监控堤坝填筑和河道开挖, 在堤坝区布设了 75 个沉降标桩, 82 个孔压仪, 20 个测斜管和 10 个水位管, 标准剖面仪器布设如图 4 所示.

4.2 边坡施工监测

(1) 建立边坡施工预警系统

边坡区经真空预压加固后, 虽然土体的物理力学性质有明显改善、土体强度有较大提高, 但在边坡开挖过程中仍存在滑坡的危险, 为此我们充分利用了各项监测手段, 实现了信息化施工, 并开发了监测数据计算分析软件, 建立了边坡施工预警系统.

该系统按以下几个阶段实施:

① 建立边坡稳定等级判定指标: 按照边坡开挖的不同阶段, 确定各项监测数据的临界值, 根据各项临界值判定边坡稳定等级:

- 稳定状态: 各项监测数据都小于临界值;
- 临界状态: 个别监测数据大于临界值;
- 不稳定状态: 多数监测数据都大于临界值, 而且现场地面出现裂缝等不稳定现象.

② 重点监控阶段: 根据边坡稳定等级判定沿线各区段的稳定性, 对于处于临界状态的边坡进行重点监控, 一旦判定边坡处于不稳定状态, 及时向有关各方发出预警报告, 调整边坡开挖进度和施工方法.

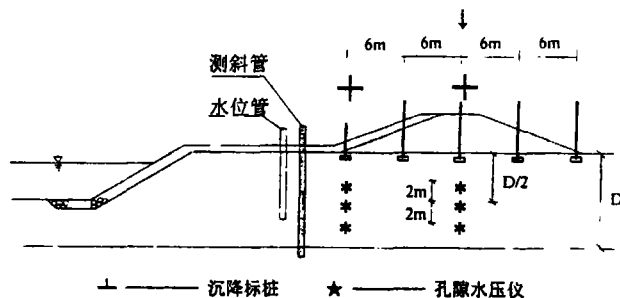


图 4 标准剖面观测仪器布置图

③ 跟综观测阶段:经第二阶段的重点监控和施工调整,使边坡回復至临界状态,并继续跟综观测直至边坡稳定状态。

(2) 监测成果分析

按以上边坡施工预警系统对开挖全过程实现了监控,避免了可能出现的滑坡事故,如在1996年5月22日和8月9日两次在右岸4+500段出现水平位移、沉降、孔隙水压力等数据过大情况,结合现场巡视判定该段边坡已处于不稳定

状态,经及时预警和调整施工顺序,使边坡恢复到了稳定状态。

在各项监测数据中深层水平位移观测是最重要的监测手段,在深圳河两岸按40~80 m间距布设了20根测斜管,在20根测斜管中最大位移量为41.55 cm,堤坝填筑期间最大位移速率达到9.2 mm/d。深层水平位移一般在3~6 m深度范围比较大,典型剖面水平位移变化如图5和图6所示。

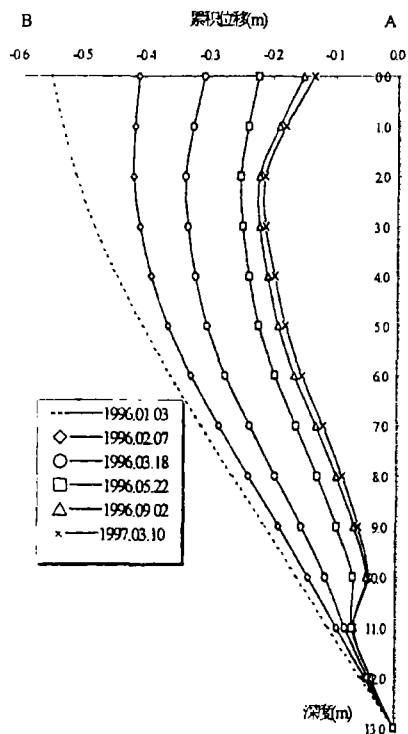


图5 A009 (4+500右) 水平位移变化曲线

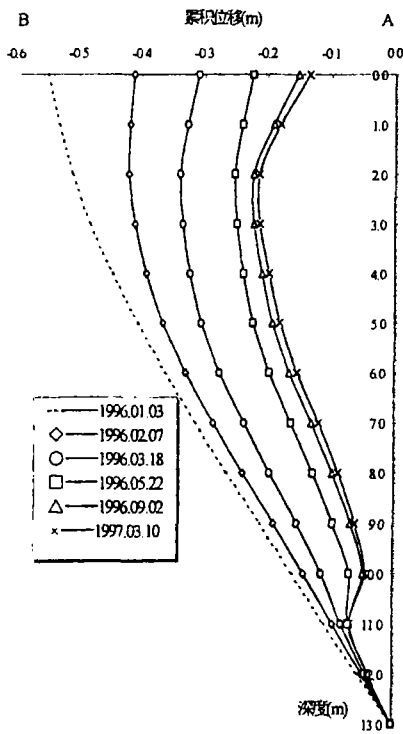


图6 A010 (4+500左) 水平位移变化曲线

5 结 论

(1) 在边坡软基处理中采用排水板结合真空预压技术取得了令人满意的技术与经济效果,该方案比原方案预计的工期提前了整整一年的时间,取得了较大的社会效益。

(2) 在边坡开挖过程中按信息法施工,建立边坡施工预警系统,对边坡所处的各种状态准确判定,从而及时地指导了边坡开挖施工。

(3) 本工程中各单元块的形状系数均小于620,比常规要求1000小的多,而且长宽比均大于5.2,实践证明,排水板真空预压法同样适用

于这种狭长条形的地基处理。

(4) 在水利工程中,确保河道边坡的稳定是避免水患、发挥水利工程作用的重要保证,本工程中所采用的真空预压加固技术具有较大的推广价值。

参考文献:

- [1] 董志良.真空预压加固软基技术的理论和实践.广东省土力学与基础工程98学术交流大会论文集,1998年,广东新会.
- [2] 魏元友、张旋明.堤坝边坡区真空排水预压加固效果分析.第五届地基处理学术讨论会.中国建筑工业出版社,1997.