

# 强夯法在昔格达土质高边坡中应用研究

常 斐, 祝云华, 谢建波

(内江师范学院 建筑工程学院, 四川 内江 641199)

**摘 要:**昔格达土质为攀西地区所特有,攀枝花为山地城市,高边坡工程随处可见,由昔格达土较差的物理特性因此需要加固处理.本文就昔格达土质高边坡强夯法处理在工程中的应用进行分析,结合长期观测发现通过6000kN·m能级强夯处理的昔格达土质高边坡达到规范要求,为以后该类土质高边坡的处理提供参考.

**关键词:**昔格达土;强夯法;粘聚力;内摩擦角

**DOI:**10.13603/j.cnki.51-1621/z.2017.04.012

**中图分类号:**TU753.8 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1785(2017)04-0053-04

## 0 引言

昔格达地层是指广泛分布于四川攀西地区安宁河、金沙江、大渡河、雅砻江河谷的灰绿色、灰白色、浅黄色泥岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩及粉细砂岩互层,并搜盖在第三系之上或不整合于花岗闪长岩之上的一套静水河湖相地层.该套地层因其易滑特性而曾被称之为“混旦层”,1958年才根据其典型剖面出露的实际地点——盐边县红格乡昔格达村而被正式命名为“昔格达层”<sup>[1]</sup>,昔格达层的土质就叫做昔格达土.昔格达土内摩擦角小,粘聚力低,稳定性差,是国内有名的易滑地层和地质灾害高发地层<sup>[2]</sup>,由于攀西经济圈的规划,越来越多的工程在昔格达地层

上建设,出现了很多昔格达土质高边坡,一旦昔格达土质高边坡失稳会给我们带来严重的生命财产损失,因此对昔格达土质高边坡的处理一直是攀西工程人员的研究重点.虽然边坡处理方法很多,但是都不经济,本文以强夯法在攀钢西昌钒钛钢铁新基地边坡工程应用为背景,对强夯前后的边坡进行对比,为强夯法在昔格达土质高边坡的工程应用提供参考.

## 1 昔格达土物理力学特性

通过现场取土进行土工试验得到,有关物理性质指标如表1所示.

表1 昔格达土料及混合料粒组级配

填料类别	中砂	细砂	粉砂	粉粒	粘粒	室内定名
	0.50~ 0.25/(mm)	0.25~ 0.075/(mm)	0.075~ 0.05/(mm)	0.05~ 0.005/(mm)	<0.005 /(mm)	
粘土岩单料	0.94	2.13	9.64	26.14	35.3	粉质粘土
粉砂岩单料	1.8	27.1	31.9	30.6	8.7	粉土
粘土岩:粉砂岩=5:5 混合料	1.1	13.5	25	40.3	20.2	粉质粘土
粘土岩:粉砂岩=6:4 混合料	1.0	13.1	23.1	39.6	23.1	粉质粘土
粘土岩+粉砂岩=8:2 混合料	1.0	11.8	17.6	45.4	24.3	粉质粘土
粘土岩:粉砂岩:碎石=5.4:1 混合料	0.72	9.52	19.6	40.8	29.4	粉质粘土
粘土岩:粉砂岩:碎石=4:3.5:2.5 混合料	0.6	9.8	22.3	39.5	27.8	粉质粘土
粘土岩:粉砂岩:粘土=4:4:2 混合料	2.1	15.2	23.1	38.6	21.0	粉质粘土

收稿日期:2016-12-23

作者简介:常斐(1987-),男,四川阆中人,内江师范学院助教

表 2 昔格达土料界限粒径分析

岩土名称	有效粒径 d <sub>10</sub> /(mm)	中间粒径 d <sub>30</sub> /(mm)	平均粒径 d <sub>50</sub> /(mm)	界限粒径 d <sub>60</sub> /(mm)	不均匀系数 Cu	曲率系数 Cc
粘土岩单料	/	0.006	0.010	0.015	/	/
粉砂岩单料	0.009	0.040	0.060	0.070	8.420	3.060
粘土岩:粉砂岩=5:5 混合物	/	0.011	0.036	0.050	/	/
粘土岩:粉砂岩=6:4 混合物	/	0.009	0.030	0.044	/	/
粘土岩+粉砂岩=8:2 混合物	/	0.006	0.019	0.034	/	/
粘土岩:粉砂岩:碎石=5:4:1 混合物	/	0.005	0.017	0.034	/	/
粘土岩:粉砂岩:碎石=4:3.5:2.5 混合物	/	0.006	0.020	0.041	/	/
粘土岩:粉砂岩:粘土=4:4:2 混合物	/	0.011	0.038	0.050	/	/

表 3 昔格达土主要物理性质

指标名称	强风化粘土岩	强风化粉砂岩
	⑦ <sub>21</sub>	⑦ <sub>31</sub>
孔隙比 e	0.55~1.31 0.94(83)	0.45~1.02 0.76(44)
天然重力密度 γ(kN/m <sup>3</sup> )	16.6~20.8 18.6(83)	17.7~21.0 19.3(44)
天然含水量 w(%)	19~42 31(76)	14~36 26(54)
液性指数 I <sub>L</sub>	0.00~0.47 0.22(69)	0.00~0.36 0.19(27)
压缩模量 E <sub>s</sub> (MPa)	6.0~18.4 11.1(59)	6.4~18.1 12.6(34)
压缩系数 a <sub>1-2</sub> (MPa <sup>-1</sup> )	0.10~0.35 0.19(59)	0.10~0.29 0.15(34)
自由膨胀率	13~66 39(15)	6~14 10(2)
渗透系数 K(10 <sup>-6</sup> cm/s)	水平 1.11~84.0 20.9	4.44~379 165
	垂直 0.263~46.1 10.2	32.9~925 357

边坡的内摩擦角作为边坡稳定性的一项重要指标,笔者通过快剪试验和不固结不排水静三轴试验,得出昔格达素土的强度包络线如图 1 和 100~300 kPa 围压下主应力差—应变曲线如图 2<sup>[3]</sup>,最终得到昔格达土力学性质如表 4 所示。

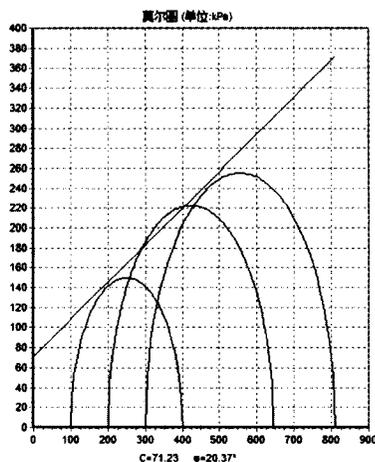


图 1 昔格达素土强度包络线

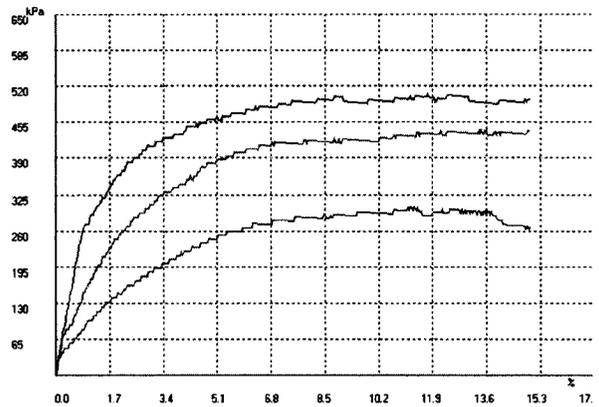


图 2 100~300 kPa 围压下主应力差与应变关系曲线

表 4 昔格达土主要物理特性

天然快剪	粘聚力 c(kPa)	18.2~79.4 55.3(14)	12.5~48.7 24.9(13)
	内摩擦角 φ(°)	11.6~29.3 19.6(14)	11.5~26.7 21.7(13)
浸水快剪	粘聚力 c(kPa)	15.6~58.8 29.7(10)	8.3~32.7 18.7(10)
	内摩擦角 φ(°)	8.1~23.8 19.1(10)	9.2~23.2 18.0(10)
固结快剪	粘聚力 c(kPa)	36.6~87.5 55.8(18)	16.4~84.6 33.8(18)
	内摩擦角 φ(°)	12.6~31.0 22.2(18)	12.9~29.4 23.8(17)
浸水固结快剪	粘聚力 c(kPa)	17.7~59.4 35.0(11)	16.1~38.4 28.0(9)
	内摩擦角 φ(°)	16.5~24.2 21.0(11)	15.3~27.0 23.0(9)
静三轴 uu	粘聚力 c(kPa)	92.4(1)	82.2(1)
	内摩擦角 φ(°)	11.5(1)	10.7(1)

从试验得出,未经处理的昔格达土质的内摩擦角偏小,不宜用作高边坡材料,因此需要对昔格达土质高边坡进行处理。

## 2 昔格达重塑土的物理力学性质分析

由于昔格达素土不能达到昔格达土质高边坡稳定性的要求,而该场地填方由昔格达组土含粉砂岩、

粘土岩或二者的混合料组成.通过机械碾压压实,通过试验得出压实度能达到0.90~0.92,因此制备最大干密度为0.90的重塑试件:60%粘土岩+40%粉

砂岩、80%粘土岩+20%粉砂岩、40%粘土岩+40%粉砂岩+20%红粘土、粉砂岩和粘土岩各7组,并进行物理力学性质试验,试验结果如表5所示.

表5 0.90  $\rho_{d, max}$  重塑试样各类型力学指标统计

统计值	重塑土类型	压缩性				饱和快剪		渗透系数
		压缩系数	压缩系数	压缩模量	压缩模量	凝聚力 C	内摩擦角 $\Phi$	垂直 kv
		$a_{v1-2}$ MPa <sup>-1</sup>	$a_{v2-3}$ MPa <sup>-1</sup>	$E_{1-2}$ MPa	$E_{2-3}$ MPa	(kPa)	(度)	(cm/s)
平均值	0.6 粘土岩+0.4 粉砂岩	0.205	0.125	7.84	12.9	25.3	16.9	3.02E-04
平均值	0.8 粘土岩+0.2 粉砂岩	0.19	0.14	9.15	11.6	26.5	16.0	5.64E-05
平均值	0.4 粘土岩+0.4 粉砂岩+0.2 红粘土	0.29	0.16	5.5	9.9	26.6	15.1	1.80E-05
平均值	粉砂岩	0.17	0.14	12.10	15.8	15	18.9	2.65E-04
平均值	粘土岩	0.27	0.19	6.99	9.83	35	13.7	4.82E-06

得到现场各类土质,内粘聚力为15~26.6 kPa,内摩擦角为13.7°~18.9°,不能满足规范要求,因此还需要采用强夯法来处理.

### 3 强夯在昔格达土质边坡中的应用

强夯法也称为固结法,引入我国已有20年的历史,是提高软弱地基的承载力,用重锤自一定高度下落夯击土层使地基迅速固结的方法<sup>[4]</sup>.原理为利用起吊设备,将10~40吨的重锤提升至10~40米高处使其自由下落,依靠强大的夯击能和冲击波作用夯实土层.强夯法广泛用于地基加固的工程上,在高边坡加固中还很少运用,在昔格达土质高边坡工程中采用强夯法处理还尚属首次.

根据以上试验换填后,该工程边坡坡率为1:1.75,规范要求土质边坡稳定的必要条件为饱和抗剪:内摩擦角不小于20°,粘聚力不小于30 kPa,压实度不低于0.94<sup>[5]</sup>.但按照1:1.75放坡不能满足稳定性要求,因此需采用6000 kN·m强夯方法对边坡进行处理.

通过6000 kN·m能级对昔格达土高边坡进行夯实后进行直剪试验得出结果如表6所示.强夯夯坑如图3所示,昔格达土质强夯边坡现场如图4所示.

表6 现场直接剪切试验成果

填料类型	C(kPa)	$\varphi$ (度)
80%粘土岩+20%粉砂岩	50.1	24.69
60%粘土岩+40%粉砂岩	48.2	23.13
粘土岩	43.0	26.44
粉砂岩	37.0	19.30

通过试验,得出6000 kN·m能级夯实后,除了粉砂岩边坡之外,其余边坡粘聚力为43~50.1



图3 强夯夯坑



图4 昔格达土质强夯边坡现场

kPa,内摩擦角为23.1°~26.44°,因此强夯填土可以作为昔格达高边坡的土体材料.

但是强夯后的昔格达粉砂岩土体内摩擦角不能达到规范要求,因此不能单独作为边坡土料.

经过6个雨季后进行检测,该边坡没有发现位移变形,且最大沉降未超过10 cm,效果较好,因此昔格达土质高边坡经过强夯法处理后稳定性能达到规范要求,此方法用于的昔格达土质高边坡处理是可行的,对以后的大型工程建设具有参考意义.建成后经过6个雨季的昔格达土质高边坡如图5所示.

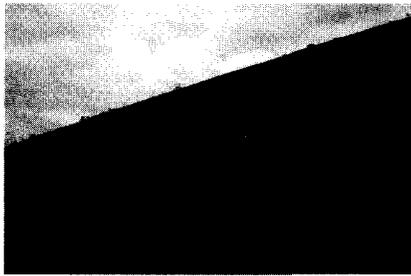


图 5 6 个雨季后的昔格达土质高边坡

#### 4 结论

(1) 昔格达素土不宜做高边坡材料, 只能经过回填重塑后才能作为良好的高边坡材料。

(2) 重塑后高边坡现场取样, 通过静三轴试验得出, 夯实后的边坡粘聚力为 43~50.1kPa, 内摩擦角为 20.09°~26.44°, 压实度大于 0.94, 得到强夯法处理后的昔格达土质边坡, 其稳定性满足规范要求。

(3) 经过三年的边坡变形观测, 得到强夯后的昔格达土质边坡稳定性满足要求, 没有明显的变形, 为以后的昔格达高边坡处理得出了宝贵的数据资料。

(4) 强夯法施工在众多边坡加固方法中属于比较经济的一种, 通过长期观测其性能满足要求, 可以广泛用于昔格达土质高边坡工程中。

#### 参考文献:

- [1] 彭胜恩. 昔格达组粘土的工程地质特性研究 [J]. 水文地质工程地质, 1986(2): 16-18.
- [2] 王波. 泽兰筋改良昔格达土物理力学试验研究 [J]. 工业建筑, 2016(5): 124-127.
- [3] 常斐. 昔格达土质回填夯实高边坡稳定性分析 [D]. 成都: 西华大学硕士论文, 2013: 17-19.
- [4] 张平仓. 强夯法施工实践中加固深度问题浅析 [J]. 岩土力学, 2000(1): 76-80.
- [5] 宋汉伟, 李仁凤, 谢斌. 昔格达土高边坡填方的强夯施工方法 [J]. CN, CN 101787689 B [P]. 2012.

## On Application of Dynamic Compaction in High Xigeda Soil Slope

CHANG Fei, ZHU Yun-hua, XIE Jianbo

(School of Civil Engineering and Architecture, Neijiang Normal University Neijiang, Sichuan 641199, China)

**Abstract:** Xigeda soil is unique in Panxi region. As Panzhihua is a mountain city, high slope engineering can be seen everywhere. In view of the poor physical properties of Xigeda soil, this paper gives an analysis regarding the application of dynamic compaction method in high Xigeda soil slope engineering and through long-term observation it is found that after the Xigeda soil was subjected to dynamic compaction treatment as strong as 6000kN. m, it nicely meets the specified engineering requirements, which can serve as a helpful reference for the future treatment of similar high Xigeda soil slopes.

**Keywords:** Xigeda soil; dynamic compaction method; cohesion; internal friction angle

(责任编辑: 李伟男)