

## 泥岩含量对填料物理力学性质的影响

王维早, 李树森, 聂德新

(成都理工大学环境与土木工程学院, 成都 610059)

**摘 要:** 昔格达填料是由泥岩和砂岩混合而成的一种混合料, 昔格达地层本身是一种特殊的地层, 由此也导致其填料的特殊性。综述了填料中泥岩含量在颗粒级配、含水量、渗透性、抗剪强度、压缩性、固结性等方面的影响, 指出只要适当的控制填料中泥岩和砂岩的混合比例, 昔格达填料是可以达到高速公路路基填料的要求的。

**关键词:** 泥岩含量; 昔格达填料; 物理力学性质

**中图分类号:** U 414.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2004)03-0220-03

## Effect of Content of Mud Rock on Physics and Mechanical Property of Filling

WANG Wei-zao, LI Shu-sen, NIE De-xin

(College of Environment and Civil Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu, 610059, China)

**Abstract:** Xigeda filling is made up of mud rock and sand rock, it is a special layer. The authors summarize the effect of content of mud rock on Xigeda filling, grain series, water content, penetrability, the intensity of shearing-resistance, compressibility. It points out that this filling can satisfy requirements of express highway filling so long as to control the proportion of mixture of mud rock and sand rock.

**Key words:** content of mud rock; Xigeda filling; physics and mechanical property

### 1 引言

随着我国西部大开发战略的实施, 西南地区的基础建设正进入迅猛发展阶段。同时, 西部面积广大, 各地的工程地质条件也不尽相同, 这也给工程建设带来了一定的困难。昔格达组地层就是其中的一种比较特殊的地层, 主要分布在西昌、攀枝花一带, 属于上新统(N<sub>2</sub>) 湖相静水沉积, 主要是由浅黄色、灰黑色泥岩与浅黄色砂岩呈韵律互层组成。泥岩层一般厚 5~50 cm, 最厚可达 1 m 以上, 具有较好的结构连结, 呈半胶结半成岩状。砂岩层厚几厘米至几米不等, 亦呈较疏松的半胶结状。

昔格达地层不仅岩性软、强度极低, 而且稳定性极差, 是国内有名的易滑地层和地质灾害高发地层, 给工程建设带来了严重的危害。由于这种材料的特殊性, 人们对利用其作为路基填料也望而生畏。攀西地区建设电站、公路、铁路、高楼大厦, 按照就地取材的原则, 昔格达土很可能作为这些工程的填料。这种特殊的填料的压实效果, 直接关系到填筑体的质量、工期、造价和工程安危等。而填料的压实效果的好坏主要取决于填料中泥岩的含量, 但是, 到目前为止对于昔格达土作为路基填料的研究甚少, 无经验可参考。为此, 研究泥岩对昔格达填料的物理力学性质的影响, 具有重要的理论意义和深远的现实意义。

### 2 泥岩含量对填料的物理性质的影响

昔格达填料的物理性质试验主要是指颗粒级配、含水量、塑、液限、密度、孔隙比等试验, 其中泥岩对昔格达填料有重要影响的是填料的颗粒级配、含水量。

#### 2.1 泥岩含量对填料颗粒级配试验的影响

昔格达填料是一种混合料, 在现场施工过程中, 把泥质灰岩和砂质结核块体粒径超过 30 cm 清除掉, 否则影响压实的效果, 对于泥岩和砂岩, 可以敲碎, 然后做筛分试验。图 1 为用昔格达填料所做的筛分曲线, 从曲线 1、2、3 可以看出随着泥岩含量的增加曲线逐渐变陡, 这说明昔格达填料随着泥岩含量的增加填料颗粒逐渐密集。从图 1 还看出: 颗粒粒径大于 5 mm 的含量比较少, 绝大部分级配在 1~0.1 mm 之间, 约占 60% 以上, 小于 0.1 mm 的含量小于 40%。昔格达填料的均匀系数  $C_u$  大于 8 和曲线 5 的曲率系数  $C_c$  为 1.7, 曲线 4 的曲率系数  $C_c$  为 3.125, 曲线 3 的曲率系数都为 0.8, 曲线 2 和曲线 1 的曲率系数分别为 1.125 和 1.25, 均匀系数均能满足公路规范要求的  $C_u > 5$  的条件, 曲线 4 和曲线 3 的曲率系数不能满足公路规范要求的  $1 < C_c < 3$  的条件, 这主要是因为填料中泥岩含量的多少引起的。攀枝花、西昌一带的昔格达地层的泥岩含量为 20%~40%, 从曲线 3 泥岩含量为 35% 可以看出: 只要泥岩含量小于 35% 或大于 35% 均能满足曲率系数  $C_c$  的要求。曲线 5 的曲率系数满足公路规范的要求, 这说明了昔

格达填料在碾压前不能满足公路规范要求而在碾压后能满足公路的规范要求, 因此, 只要控制好泥岩和砂岩的混合比例就可以得到级配良好的填料。从颗粒级配曲线的形状上看级配曲线呈光滑凹面向上的形式, 坡度较缓, 说明土粒大小连续, 曲线平顺且粒径之间有一定的变化规律。只要在施工时严格控制昔格达填料泥岩和砂岩的混合比例, 经合理压实可得到较高的密实度, 较高的变形模量和抗剪强度。

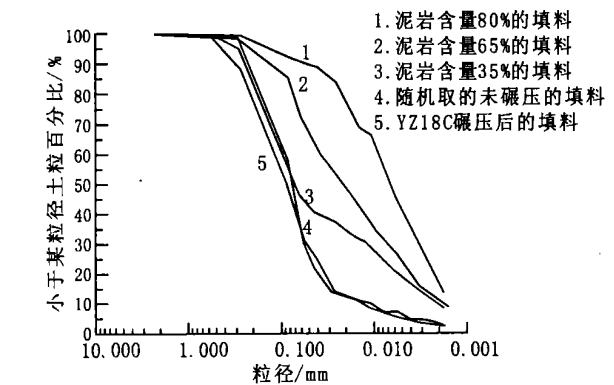


图 1 昔格达填料颗粒级配曲线

2.2 泥岩含量对填料含水量的影响

含水量是影响填料压实度的关键性因素, 而压实度又是目前检测填料是否压实合格的最重要的指标。因此是否准确地测量出填料的含水量对控制施工质量是至关重要的。昔格达填料是由泥岩和砂岩按照一定的比例混合而成的混合料, 由于组成昔格达填料的泥岩和砂岩的含水量不相同, 因此泥岩和砂岩的混合比例是影响填料含水量的关键因素。本次试验按照泥岩的不同含量所做的填料的含水量试验结果如图 2:

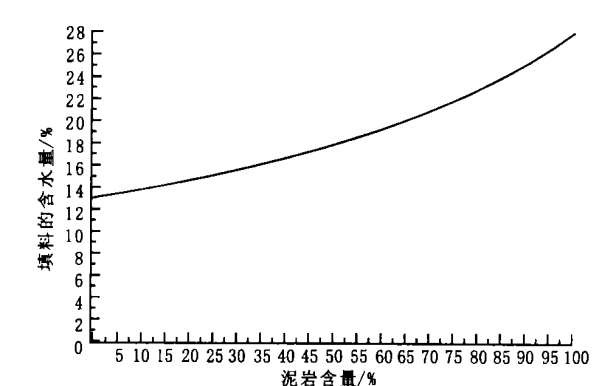


图 2 昔格达填料含水量随泥岩含量变化曲线

由图 2 可以看出: 昔格达填料的含水量随着泥岩含量的增加而增加, 填料的含水量从 13.07% (泥岩含量 1%) 增加到 28% (泥岩含量 100%), 其增加趋势近似成直线形式, 可见泥岩含量对填料的含水量影响比较大, 因此应该按照击实试验所取得的最佳含水量 14% 左右来选择泥岩的含量为 20% 左右与砂岩含量为 80% 左右, 这是因为含水量对昔格达填料的压实有着重大的影响, 土的含水量过大则路基的填料的压实度达不到要求, 往往会产生“弹簧”效应, 压不实, 降低路堤的稳定性和强度; 土的含水量不足, 需要过多的压实工作, 通常不易达到规定的压实度, 尤其对昔格达填料来说, 若含水量不足往往在填料的表面出现很厚的松土层。

3 泥岩含量对填料力学性质的影响

土的力学性质是与工程建筑的稳定和安全运营最直接相关的工程地质性质。为了更全面更好的掌握昔格达填料的性质, 为了路基的稳定和公路的正常运转, 必须对昔格达填料的力学性质引起足够重视。

3.1 泥岩含量对填料的渗透性的影响

土的透水性表征土体被水透过的性能, 是土体基本力学性质之一。高速公路路堤的透水性对公路的使用寿命是至关重要的, 如果公路路堤的透水性比较好, 雨水很容易进入公路路堤的内部, 造成路堤的管涌现象, 缩短了公路的使用期限。为了验证用昔格达土作为填料的路堤的透水性, 本次试验在用 YZ18C 压路机碾压到最佳效果的试验路段上做透水试验。其试验结果如表 1, 由表 1 可知昔格达填料的渗透系数为  $5.62 \times 10^{-7} \sim 2.67 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ , 平均渗透系数为  $1.41 \times 10^{-6}$ , 变异系数为 0.411, 根据 Meyerhof 的变异系数划分方<sup>[3]</sup>可知昔格达填料渗透系数的变异系数很高, 说明了昔格达填料渗透系数变化比较大, 这主要是因为路基填料的泥岩和砂岩混合不均匀造成的, 当填料的泥岩含量多时渗透系数就低, 相反, 渗透系数就高。但从表 2 可知: 昔格达填料压实至最佳效果时的渗透系数介于黏土 ( $< 1.2 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ ) 与粉质黏土 ( $1.2 \times 10^{-6} \sim 6.0 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ ) 的渗透系数之间, 黏土与粉质黏土的透水性很小, 说明昔格达土的渗水性不好, 这样下暴雨时雨水不容易渗入到路基内部, 避免了路堤发生管涌现象, 对路基的稳定是非常有利的。

表 1 昔格达填料的渗透试验成果表

参数统计	统计指标				统计个数
	范围值	平均值	标准差	变异系数	
渗透系数	$5.62\text{E-}7 \sim$	$1.41\text{E-}6$	$0.58\text{E-}6$	0.411	13
	$/\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$	$2.67\text{E-}6$			

表 2 几种的土的渗透系数<sup>[1]</sup>

土类	渗透系数/ $(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$	土类	渗透系数/ $(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$
黏土	$< 1.2 \times 10^{-6}$	细砂	$1.2 \times 10^{-3} \sim 6.0 \times 10^{-3}$
粉质黏土	$1.2 \times 10^{-6} \sim 6.0 \times 10^{-5}$	中砂	$6.0 \times 10^{-3} \sim 2.4 \times 10^{-2}$
黏质粉土	$6.0 \times 10^{-5} \sim 6.0 \times 10^{-4}$	粗砂	$2.4 \times 10^{-2} \sim 6.0 \times 10^{-2}$
黄土	$3.0 \times 10^{-4} \sim 6.0 \times 10^{-4}$	砾砂	$6.0 \times 10^{-2} \sim 1.8 \times 10^{-1}$
粉砂	$6.0 \times 10^{-4} \sim 1.2 \times 10^{-3}$		

3.2 泥岩含量对填料的抗剪性的影响

土的抗剪强度通常被称为土的强度, 是指土抵抗土体颗粒间产生相互滑动的极限能力, 地基承载力、边坡稳定、挡土墙压力等都与土的抗剪强度有关系。土的抗剪强度是稳定分析中必要的基本指标, 是土力学中最重要的土的特性之一。其一般表达式为:

$$\tau = C + \sigma \tan \varphi$$

式中:  $\tau$ ——剪切强度;  $C$ ——黏聚力;  $\sigma$ ——正应力;  $\varphi$ ——内摩擦角,  $C$ 、 $\varphi$ ——是抗剪强度参数。

本次试验的试样是在用 YZ18C 压路机碾压到最佳效果的试验路段任意取得的, 对其进行直剪试验, 其剪应力与剪位移的关系曲线如图 3。从图 3 可以看出: 随着剪应力的增加剪位移也逐渐增加, 在开始阶段增加的速度较快, 在达到

峰值前的一段内剪应力随剪位移的增加速度变缓,达到峰值后剪应力不再随着的剪位移的增加而增加,此时填料已经进

入塑性变形阶段,这表明:当昔格达填料的残余强度值变化不大,它与峰值强度的差也不大,它的残余强度值是稳定的。

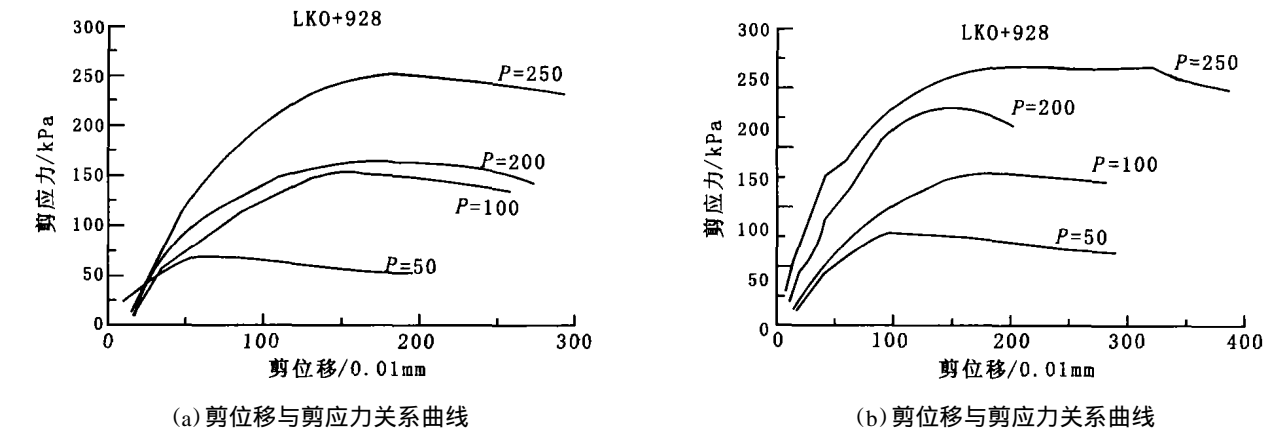


图 3 昔格达填料的剪位移与剪应力关系曲线

其剪切试验结果如表 3。由表 3 可知昔格达填料的内摩擦角  $\varphi$  为 19.7~42.6, 平均值为 31.6°; 变异系数为 0.1263, 昔格达填料内摩擦角的变异系数小, 说明了昔格达填料的内摩擦角变化小, 填料的泥岩含量对填料内摩擦角影响不大。内黏聚力  $c$  (kPa) 为 24~77, 平均为 45.8 kPa, 变异系数为 0.3016, 昔格达填料的内黏聚力变异系数高, 说明了昔格达填料的内黏聚力变化比较大, 填料的泥岩含量对填料内黏聚力影响大。这主要是因为昔格达填料是由泥岩和砂岩混合而成的, 虽然总体上来说填料的泥岩和砂岩混合比较均匀, 但不能排除所取得个别试样的泥岩含量高时, 内黏聚力  $c$  (kPa) 偏高, 泥岩含量低时, 黏聚力  $c$  (kPa) 偏低。因此在设计时, 考虑安全起见内黏聚力  $c$  (kPa) 可取的相对偏小一点。

表 3 昔格达填料的剪切试验成果表

参数统计	统计指标				统计个数
	范围值	平均值	标准差	变异系数	
$c/\text{kPa}$	24~77	45.826	13.823	0.3016	38
$\varphi/^\circ$	19.7~42.6	31.566	3.986	0.1263	38

3.3 泥岩含量对填料的固结性的影响

土体在固结过程中, 随着土中水的排除, 土体孔隙比减小, 土体产生压缩, 体积减小; 随着有效应力逐步增大, 土体抗剪强度提高。在工程中常常应用固结过程这两种特性通过排水固结法对地基进行改良, 达到提高地基承载力, 减少工后沉降的目的。

本次试验的试样是在用 YZ18C 压路机碾压到最佳效果的试验路段任意取得的, 其压缩试验的孔隙比与压力的关系曲线如图 4。由图 4 可知: 压缩曲线起始较陡, 而后曲线逐渐变缓。这是因为填料中砂岩的含量比较大泥岩含量较少, 其压缩时间比砂砾土的压缩时间长而比黏土的压缩时间短。

由表 4 和表 5 可知: 昔格达填料压实至最佳密度时的平均压缩系数为 0.142 MPa, 变异系数为 0.37, 昔格达填料的变异系数高, 说明了昔格达填料压缩系数变化比较大。从压缩模量方面来看: 平均压缩模量为 13.898 MPa, 变异系数为 0.376, 昔格达填料的变异系数高, 说明了昔格达填料压缩模量变化比较大。这主要是因为填料中泥岩和砂岩的混合不均匀造成的, 泥岩的含量对压缩性影响很大, 昔格达填料

中泥岩含有伊利石、绿泥石、蒙脱石等矿物成分<sup>[11]</sup>, 这些矿物会使填料亲水性增强和孔隙比增大, 从而使填料的可压缩性提高, 当填料中泥岩含量高时填料压缩系数大和压缩模量小, 相反, 填料压缩系数小和压缩模量大。但从表 5 可知昔格达填料压密至最佳密实度时属于中等压缩性土。因此可以看出昔格达填料达到最佳密实度时处于中等压缩性~ 低等压缩性, 符合公路路基填料的要求。

表 4 昔格达土的压缩、固结试验成果表

参数统计	统计指标				统计个数
	范围值	平均值	标准差	变异系数	
压缩系数	0.066~0.249	0.142	0.0527	0.37	13
压缩模量	7.216~25.49	13.898	5.22	0.376	13
固结系数	1.09E-2~8.17E-2	2.28E-2	1.8E-2	0.79	13
孔隙比	0.5665~0.868	0.694	0.0965	0.139	13

表 5 黏性土压缩性按压缩系数和压缩模量分类<sup>[2]</sup>

压缩分类	高压缩性	中等压缩性	低压缩性
压缩系数 $\alpha_{1-2}$	$> 0.5$	$0.1 < \alpha_{1-2} < 0.5$	$< 0.1$
按压缩模量 $M_{pa}$	5	$5 < E_s < 15$	$> 15$

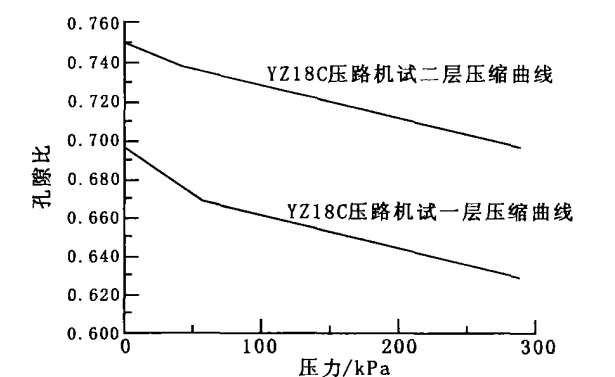


图 4 填料的孔隙比与压力的关系曲线

80 cm 的土层之间,而柠条密度越大,土层中柠条根系分布越多,柠条生长耗水量越大,土壤含水量越低。2003 年(年降雨量持平年),土壤水分调查结果为:4 m 带距条 20~80 cm 内各层土壤含水量均比对照低,7 m 与 10 m 带距 20~80 cm 内各层土壤含水量均比对照高,说明干旱区柠条的种植密度直接影响着土壤含水量的多少,种植密度越大土壤含水量越高,同时说明在干旱区盐池种植柠条林时,带距应以 7 m 或大于 7 m 为宜。各层土壤含水量相比,土壤表层由于受蒸散影响较大,该层土壤含水量最低,随着土层的变深,土壤含水量增加,尤其在 0~80 cm 范围内土壤含水量显著( $P < 0.05$ )增加,由于降水量少,植物蒸散、土壤蒸散等,大气降雨对深层土壤含水量影响不大,因此,60~100 cm 内土壤含水量虽然增加,但变化不显著,这说明干旱风沙区盐池,2003 年大气降雨、植物蒸散仅仅对人工柠条林 0~80 cm 内土壤含水量产生显著影响。

#### 4 结 论

(1)干旱区土壤水分主要靠大气降雨补给,土壤含水量主要受蒸发、大气降雨及植物生长节律的影响,柠条林土壤

#### 参考文献:

- [1] 阿拉木萨,蒋德明,范士香,等.人工小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*)灌丛土壤水分动态研究[J].应用生态学报,2002,13(12):1537-1540
- [2] 曹成有,寇正武,姜德明,等.沙地小叶锦儿群落经营的对策[J].中国沙漠,1999,19(3):241-242
- [3] 孙铁军,朴顺姬,潮洛蒙,等.羊草草原退化上群落蒸发蒸腾日进程的分析[J].内蒙古农业大学学报,2000,21(2):53-57
- [4] 韩仕峰,史竹叶,徐建荣.宁南半干旱地区不同立地农田水分恢复评价[J].水土保持研究,1996,3(1):22-26

(上接第 222 页)

#### 4 结 论

(1)从颗粒级配上看只要填料中泥岩的含量小于 35% 就完全符合工程中的不均匀系数和曲率系数的要求,满足高速公路填料的要求。

(2)从含水量方面看只有控制填料中泥岩的含量,才能使填料的含水量接近最佳含水量,达到最佳的压实效果。

(3)从渗透试验看昔格达填料泥岩含量对渗透系数影响

#### 参考文献:

- [1] 长安大学.工程材料[M].北京:人民交通出版社,2001
- [2] 工程地质手册编写委员会.工程地质手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1992
- [3] GB50021-2001.岩土工程勘察规范[S],2002
- [4] 孔德坊.工程岩土学[M].北京:地质出版社,1992
- [5] 陈希哲.土力学地基基础[M].北京:清华大学出版社,1998
- [6] JTJ051-93.公路土工试验规程[Z].中华人民共和国交通部,1993
- [7] 龚晓南.高等土力学[M].杭州:浙江大学出版社,2002
- [8] 刘宏,韩文喜,张倬元.砂砾石土料的压实特性[J].三峡大学学报(自然科学版)2002,24(4):297-299
- [9] 彭盛恩.昔格达土作为筑坝土料特性的研究[J].水文地质工程地质,1989,(6):22-24,26
- [10] 张永治.攀西地区昔格达土综述[J].攀枝花大学学报,1995,12(2):75-78

贮水量月变化较大,柠条林土壤含水量日变化主要受植物蒸腾与土壤蒸散影响,在中午达到最低值。

(2)人工柠条林种植密度影响土壤水分状况。带距为 4 m 时,人工柠条林密度过大,柠条生长耗水大于补给量,土壤水分处于亏损状态,土壤贮水量比对照低,对柠条长期生存不利,而带距为 7 m、10 m 时,柠条密度相对较小,柠条生长对土壤贮水量影响不大,土壤水分处于积蓄状态,土壤贮水量比对照高,有利于柠条生长。

(3)同一带距,距柠条越近,土层中柠条根系分布越多,消耗土壤水分越多,土壤贮水量越低,林地土壤水分随着离柠条带的增加显著( $P < 0.05$ )增加。

(4)随着带距的增加各层土壤含水量增加,4 m 带距条 20~80 cm 内各层土壤含水量均比对照低,7 m 与 10 m 带距 20~80 cm 内各层土壤含水量均比对照高,柠条密度直接影响着土壤含水量的高低,在干旱区盐池种植柠条林时,带距应以 7 m 或大于 7 m 为宜。土壤表层由于受蒸散影响较大,含水量最低,随着土层的变深,在 0~80 cm 范围内土壤含水量显著( $P < 0.05$ )增加,说明柠条对 0~80 cm 土壤含水量产生显著影响。

较大,只要泥岩含量适当,压实效果比较好,路基不容易渗入进水,对路基的稳定性有利。

(4)从压缩方面看昔格达填料属于中等——低等压缩性,路基的沉降小,对路基有利。

(5)从剪切试验的两个指标看内摩擦角( $\varphi$ )受泥岩含量的影响比较小,影响不大,黏聚力( $c$ )受泥岩含量影响较大,总得来说对填料的剪切强度影响较大,因此应控制填料的泥岩含量。