

风化软岩填筑路基可行性室内试验研究

郑明新, 方 焘, 刁心宏, 颜 文

(华东交通大学 道桥与岩土工程研究所, 南昌 330013)

摘 要: 针对武广客运铁路专线沿线遇到的大量软质千枚状板岩和泥质粉砂岩, 在分析风化软岩基本矿物成分、耐崩解性的基础上, 结合风化软岩岩块力学强度和击实试验结果, 初步判定风化软岩填筑路基的可行性, 同时提出了软岩填筑路基可行性的初步判定方法。

关 键 词: 风化软岩; 矿物成分; 耐崩解性; 击实试验; 初步判定方法

中图分类号: TU 443; U 213.15

文献标识码: A

Experimental study on feasibility of filled subgrade with weathered soft rock

ZHENG Ming-xin, FANG-tao, DIAO Xin-hong, YAN-wen

(Institute of Road & Bridge and Geotechnical Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: On the basis of field survey of slate phyllite and siltstone along Wu-Guang Railway, the mineral components and the properties of enduring collapse are discussed. Then, combining the strength of weathered soft rock and the results of compaction test, the feasibility of filled subgrade with weathered soft rock are judged. Furthermore, the judging principle and method of feasibility of filled subgrade with weathered soft rock are set up.

Key words: weathered soft rock; mineral components; properties of enduring collapse; compaction test; judging principle and method

1 前 言

武广客运专线沿线分布的大量软质岩地层为第三系至白垩系下统泥质粉砂岩、含砾砂岩及元古界板溪群、冷家溪群泥质板岩和千枚状板岩, 其特点是强度低, 抗风化能力、抗水性及抗变形能力较差。由于软质岩岩块作为路堤填料与其他颗粒及硬质岩碴填料不同, 其粒径组成会随碾压过程、裸露时间长短及含水情况而变化, 既不能象硬石质填料采取控制颗粒级配来达到最优密度, 也不能将弃碴全部破碎成土通过最优含水量来控制。日本 20 世纪 60 年代就开始对软岩填筑路基的可行性开展了一定的实验研究与工程实践^[1]。1965 年在东名高速公路挂川段开始使用沉积软岩作为路基填料, 随后在中原国道的西宫段、庄原段等相继施工, 但在道路运营过程中出现了大量工后不均匀沉降, 其主要原因是

沉积软岩发生粉化和表面淋滤后, 在列车动荷载作用下易于发生翻浆冒泥。之后, 日本学者通过试验研究提出了相应的对策: (1) 基床浅表层不采用易粉化的材料, 同时增大路基刚度, 分散列车荷载以减小基床压力; (2) 对于软岩材料粉碎性较大时, 采用大型碾压机械进行充分的破碎与碾压。

国内铁路、公路以及堆石坝工程等填方工程多采用不水解的坚硬岩石颗粒作为填料, 很少采用软质岩块作填料^[2]。采用软质岩岩块作填料是否可行? 除了大型现场试验外, 是否可通过室内试验来初步评判? 笔者针对武广客运专线软岩岩块特征进行了室内试验, 对所遇软岩是否可作为填料进行了研究, 并提出了初步评判方法。

2 软岩填筑可行性判定方法的探讨

风化软岩填料是指由不同粒径颗粒组成的混合

物, 粒径大于 200 mm 的块石质量占总质量 50 % 以上, 含有一定量的小于 0.075 mm 的粉粒和粘粒, 以易风化、尖棱状为主。

根据其风化程度及胶结物的不同, 首先根据现有《铁路工程岩土分类标准》(TB10077-2001)^[3] 进行判定。块石填料可构成 B、C、D 三组填料, 其中 B 组不易风化 (胶结物为硅质或钙质), C 组易风化 (胶结物为泥质), D 组强风化及全风化。据此, 研究用填料初判应属 C 组和 D 组。

对于基床表层, 若使用 C 组填料则要求采用细粒土含量不得大于 30 % 的碎石土、角砾土, 严禁使用 D、E 组填料作为基床表层填料。对于基床底层填料可选用 A、B、C 组填料, 当不得不使用 D 组填料时, 必须采取加固和改良措施。结合《京沪高速铁路设计暂行规定》^[4] 要求, 软岩块石只能考虑是否可作为基床底层填料。

风化软岩作为基床底层填料是否可行如何判

定? 目前国内外尚未有现成的评判方法。仅有的也主要是依据现场大型试验进行分析。现场大型试验花费高、周期长。通过室内试验是否可用来判定? 为此, 本文首先从软岩矿物成分出发, 将试样分成软岩块体和全风化碎屑物两部分, 通过矿物鉴定与 X-衍射分析, 分析其矿物是否含有膨胀性粘土矿物及其含量, 进而在其水稳性基础上, 结合风化软岩块力学强度和击实试验成果, 初步判定了风化软岩填筑路基的可行性, 同时提出了软岩作为基床底层填料可行性的试验定方法。

3 千枚板岩与泥质砂岩风化软岩室内试验分析

3.1 矿物成分分析

采用 X-衍射分析软岩块体和全风化碎屑物矿物成分, 以探讨软岩在风化过程中的物性变化特征。分析结果见表 1。

表 1 软岩及其全风化碎屑物矿物成分表
Table 1 Mineral components of the soft rock and its weathered fragments

类别	状态	矿物成分及含量	备 注
泥质千枚板岩	块状	绢云母 30 %±, 高岭石 35 %, 土石英 30 %±, 长石 5 %±。	含有少量千枚岩岩屑。
	碎屑	绢云母 30 %±, 高岭石 35 %, 土石英 30 %±, 长石 5 %±。	含有少量的千枚岩岩屑。
砂质千枚板岩	块状	绢云母 20 %±, 高岭石 15 %, 土石英 55 %±, 长石 10 %±。	显微鳞片状变晶结构, 表面具有丝绸光泽, 为青灰色千枚板岩。
	碎屑	绢云母 25 %±, 高岭石 20 %, 土石英 50 %±, 长石 5 %±。	含有少量千枚岩岩屑。
泥质粉砂岩	块状	蒙脱石 10 %±, 绢云母小于 5 %, 土石英 40 %±, 长石 15 %±, 方解石 30 %±。	砂状结构, 滴盐酸气泡, 棕红色钙质粉砂岩。
	碎屑	蒙脱石 5 %±, 绢云母 30 %±, 高岭石 35 %±, 石英 30 %±, 长石 5 %±, 方解石 20 %。	似土壤、含有砂岩岩屑, 滴盐酸气泡。

由表 1 可知, 泥质千枚板岩与砂质千枚板岩所含粘土矿物以高岭石为主, 工程性质较好且风化前后矿物成分及其含量变化不大, 不含伊利石与蒙脱石等粘土矿物, 利于路基工程的长期稳定性, 故初步认为可以作为路基的底层填料。而泥质粉砂岩块与碎屑混合物含有 5 %~10 % 的蒙脱石, 具有较强的膨胀性, 作为填料其水稳性及耐久性均较差。

3.2 风化碎屑物及强风化岩块物理性质

风化岩屑液限、塑限、塑性指数试验的结果表明: 泥质千枚状板岩与砂质千枚板岩物理性质基本接近, 液限为 32 %~36 %, 塑限为 18 %~24 %, 塑性指数为 12~14, 而泥质粉砂岩风化岩屑液限为 40 %, 塑限为 17 %, 塑性指数为 23, 均明显高于千枚状板岩, 结合前述含蒙脱石, 自由膨胀率为 17 %~19 %, 可以判定泥质粉砂岩具有一定的膨胀性。现场调研也反映泥质粉砂岩存在各种特定形态的地质界面、微孔隙等, 具有较强的剥离性, 其结

构上潜在的缺陷使其颗粒在路基压实及运营过程中易于出现细小颗粒不断增加, 粗颗粒间咬合力减弱, 总体强度减小。这种在高围压下易于出现颗粒破碎现象, 是研究软岩粗粒填料可行性的重要参数之一。

3.3 耐崩解性试验

试验目的是测定软岩在水中崩解的速率, 并借以鉴别岩石胶结程度和膨胀性能, 从而定性判断软岩水稳性。试验方法: 采用 3 类岩石各 200 g, 敲去尖锐棱角, 刷净表面, 烘干至恒量后放入盛有清水的烧杯中浸润 1 昼夜, 再烘干 1 昼夜, 重复以上过程 5 次。

从表 2 试验结果看, 泥质千枚状板岩与砂质千枚状板岩的耐崩解性指数有较大差别, 这主要由于其胶结物及其胶结程度不同, 其次是风化程度及矿物成分不同。而泥质粉砂岩抵抗干湿循环的能力更

差, 主要与其结构性、膨胀性有关。

表2 耐崩解性指数与液限、塑限、颗分指标分类成果

Table 2 The indexes of enduring collapse and the w_L , w_P and granulometric analysis

岩石名称	耐崩解性指数/%					液限 / %	塑限 / %	塑性指 数	耐久性 分级	不同粒径(mm)下的颗粒组成/%				
	第1次 循环	第2次 循环	第3次 循环	第4次 循环	第5次 循环					2.0~1.0	1.0~0.5	0.5~0.25	0.25~0.1	<0.1
泥质千枚板岩	76.1	55.3	42.5	33.6	26.7	36	24	12	底	6	7	11	33	43
砂质千枚板岩	浑圆状	94.8	90.5	85.6	82.2	32	18	14	高	4	3	6	27	60
	棱角状	93.7	91.8	89.4	86.7	32	18	14	高	16	7	14	16	47
泥质粉砂岩	78.0	62.7	55.3	51.6	48.4	40	17	23	中	9	23	15	15	48

3.4 力学性质分析

力学试验主要考虑岩块的强度和粗粒混合物的强度。岩块的强度采用点荷强度试验分析其天然状态下岩块强度, 以反映破碎情况及适宜的含水率, 以便达到最佳碾压效果。进行三轴试验分析不同粗细比试样下的强度, 以探索何种颗粒级配最利于填筑。

3.4.1 岩石点荷载强度

取部分千枚板岩和泥质粉砂岩试样进行点荷载强度试验结果表明, 点荷载的强度: 泥质粉砂岩为 1.339 MPa, 砂质千枚板岩为 0.238 MPa, 泥质千枚板岩(风干)仅有 0.137 MPa。但据前述耐崩解性指数泥质粉砂岩却接近泥质千枚状板岩, 经分析点荷载强度与耐崩解性相关性较差。另外, 点荷载强度受含水率的影响比较大, 对泥质千枚状板岩来说, 其天然状态下的强度, 要比风干状态下的强度高出很多, 也就是说天然状态下更有利于破碎压实, 施工过程中不宜长期放置, 需控制好含水率的情况下再碾压。

3.4.2 三轴试验

试样制备以粗细比为 5:5 的重型击实试验提供的最优含水量与最大干密度为背景资料, 试样中最大粒径均小于 20 mm, 其中小于 2 mm(细粒)的颗粒占 50%, 小于 20 mm 且大于 2 mm(粗粒)的颗粒占 50%。试样高度为 200 mm, 每种试样均准备 5 个, 在英国 GDS 动三轴仪上完成。

试验表明, 在颗粒级配大致相同的情况下, 砂质千枚板岩的快剪强度指标($\phi = 19.62^\circ$)均高于泥质千枚板岩($\phi = 15.291^\circ$)。泥质粉砂岩具有较高的粘聚力为 15.346 kPa, 而 ϕ 值只有 10.841° , 较低, 这与泥质粉砂岩粘粒含量较高相符合。

3.5 击实试验分析

3.5.1 室内击实试验的标准与方法

由于风化软质岩颗粒强度低、易破碎, 风化后有较多细颗粒甚至粘粒, 与一般粗粒土压实特性不同。为此, 结合《铁路工程土工试验方法》^[3, 5]重型法 II 试件制备方法, 利用正交试验, 对每个因素考虑 5 个水平, 同时考虑含水量、粗粒所占百分含

量, 来探讨粗粒含量-最大干密度-最优含水量、压实功能-压实密度之间的关系。

试样制备: 将岩样强风化及全风化混合料用木锤锤碎, 过 40 mm 筛, 按 4 分法至少准备 5 份试样, 按 2%~3% 的级差分别加水并拌匀(闷料时间不少于 24 h), 含水量以全风化岩屑塑限含水量作参考。粗粒含量由大到小, 取粗粒含量分别为 10%, 30%, 50%, 70%, 90% 的混合物进行击实试验, 分 3 层, 每层击数为 98 击, 试筒容积为 2177 cm³。

3.5.2 试验成果分析

对粗粒含量分别为 10%, 30%, 50%, 70%, 90% 击实散点图采用最小二乘法拟合, 进而得出粗粒含量与压实干密度、最佳含水量的关系。限于篇幅, 这里仅分析千枚板岩粗粒含量与最大干密度与最佳含水量之间的关系见图 1 所示(图中 ρ_{dmax} 为最大干密度; ω_o 为最优含水量)。

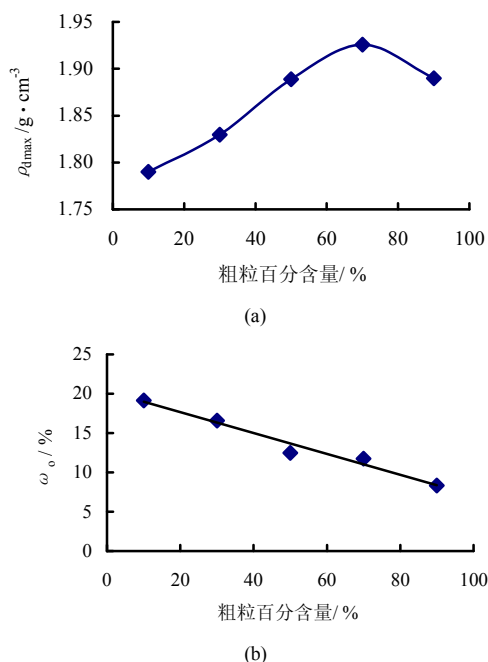


图1 粗粒百分含量与最大干密度、最优含水量的关系曲线

Fig.1 The relationship between coarse content and the maximal dry density & the optimum water content

56 从图 1 可以看出, 当软岩粗粒含量不同时有不同的最大干密度与最优含水量, 具有以下特点:

(1) 软岩混合物填料的最大干密度与最优含水量与粗粒百分含量有关, 最优含水量随粗粒含量增加而降低。

(2) 最大干密度随粗粒含量变化, 粗粒含量在 60%~80% 之间时, 最大干密度达到最大; 当粗粒含量达到一定值时, 最大干密度反而呈现减小的趋势。究其原因, 当粗粒含量小于 60% 时, 颗粒相互挤压破碎物较少, 干密度增大主要由粗颗粒增加而引起; 而当粗粒含量在 60%~80% 之间时, 粗颗粒相互接触的机率增大, 颗粒破碎严重, 至 70% 时达到最大; 而当粗粒含量大于 80% 时, 粗颗粒形成骨架, 导致粗颗粒含量的增大而最大干密度减小的现象。因此风化软岩岩块的压实工程特性与粗颗粒及细颗粒的相对含量密切相关。

(3) 就风化千枚板岩而言, 粗粒含量小于 40% 时, 其压实工程特性主要由细料的工程性质决定, 当粗粒含量大于 70% 时, 其压实工程特性则由粗料决定。

(4) 就风化石质千枚板岩而言, 粗粒含量在 30%~70% 时, 随着击实功 (每层的击数) 增加, 密度也增加, 在给定的击数变化范围内基本呈线性增加。其中粗粒含量为 70% 时, 干密度增加最快, 50% 次之, 30% 时最小, 如图 2 所示。

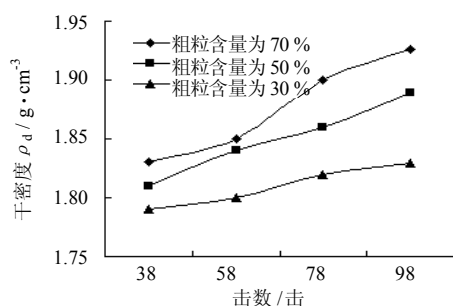


图 2 每层击数与干密度之间的关系

Fig.2 Relationship between the number of strikes and dry density

4 结 论

风化软质岩块作为准高速铁路路基填料在国内外目前很少应用, 更无相应的判定方法和标准。本文通过尝试性室内试验, 初步得出以下结论:

(1) 通过对泥质千枚板岩、砂质千枚板岩和泥质粉砂岩块室内试验, 结合实践初步提出了风化软质岩块作为路路基填料可行性的评判方法, 即首先分析风化软质岩矿物成分、风化碎屑物及强风化岩块物理性质、耐崩解性来判定软质岩块作为填料是

否具有内在的物质条件, 进而再分析风化岩块及粗细粒混合物的力学强度, 并考虑不同水平含水量和粗粒百分含量的室内击实试验来分析软岩填料强度和工程特性, 实践证明是可行的。

(2) 通过 X-衍射分析矿物鉴定, 泥质千枚板岩与砂质千枚板岩所含高岭石等粘土矿物工程性质相对较好, 且风化前后矿物成分及其含量变化不大, 不含伊利石与蒙脱石等粘土矿物, 初步认为可以作为路基的底层填料。而泥质粉砂岩块与碎屑混合物含有 5%~10% 的蒙脱石, 作为填料水稳性及耐久性较差。

(3) 依据风化岩屑物理力学试验指标, 泥质千枚状板岩与砂质千枚板岩物理性质基本接近, 塑性指数 $I_p=12\sim14$, 而泥质粉砂岩风化岩屑塑性指数 $I_p=23$, 反映粘土矿物含量高, 尤其是含有蒙脱石则具有一定的膨胀性。结合耐崩解试验, 泥质粉砂岩抵抗干湿循环的能力差, 主要与其结构性、膨胀性有关, 其作为填料水稳性及耐久性较差。

(4) 岩块点荷载强度试验表明, 试验强度与采样地点、风化程度、风干情况等有关, 必须结合不同粗细比试样条件下的三轴试验强度来分析, 以探索何种颗粒级配最利于填筑。初步表明千枚板岩的快剪强度高于泥质粉砂岩, 千枚板岩具有较好的填筑条件。

(5) 室内击实试验表明, 软岩混合物填料的最大干密度与最优含水量、粗粒百分含量有关, 最优含水量随粗粒含量增加而降低。粗粒含量在 60%~80% 之间时, 最大干密度达到最大; 当粗粒含量达到一定值时, 最大干密度反而呈现减小的趋势。因此, 风化软岩岩块的压实工程特性与颗粒粗细的相对含量密切相关。

(6) 结合前述研究表明千枚状板岩属于 C 组填料, 可作为填料用于路基底层的填筑。但在施工过程中应注意充分破碎并选择大型碾压机械进行施工, 选择合理的松铺厚度, 确保达到要求的孔隙率, 以防因填料软化或崩解而发生过大沉降。泥质粉砂岩属于 C、D 组填料, 有可能用于工程性质及水文地质条件较好的地段填筑或进行一定的改良, 不宜直接用作路基填料。

参 考 文 献

- [1] (日)薄, 宫林, 小岛. 采用软岩弃碴的大型填土的设计和施工[J]. 铁道部科学研究院译. 土与基础. 1984, 32(7): 53-59.
- [2] 冯沅, 刘军勤. 开山软岩填筑路基施工技术[J]. 山西交通科技. 1997, (4): 35-38.
- [3] TB10077-2001, 铁路工程岩土分类标准[S].

- [4] GB/T50123—1999, 土工试验方法标准[S]. 出版社, 2000.
- [5] 沙庆林. 公路压实与压实标准[M]. 北京: 人民交通