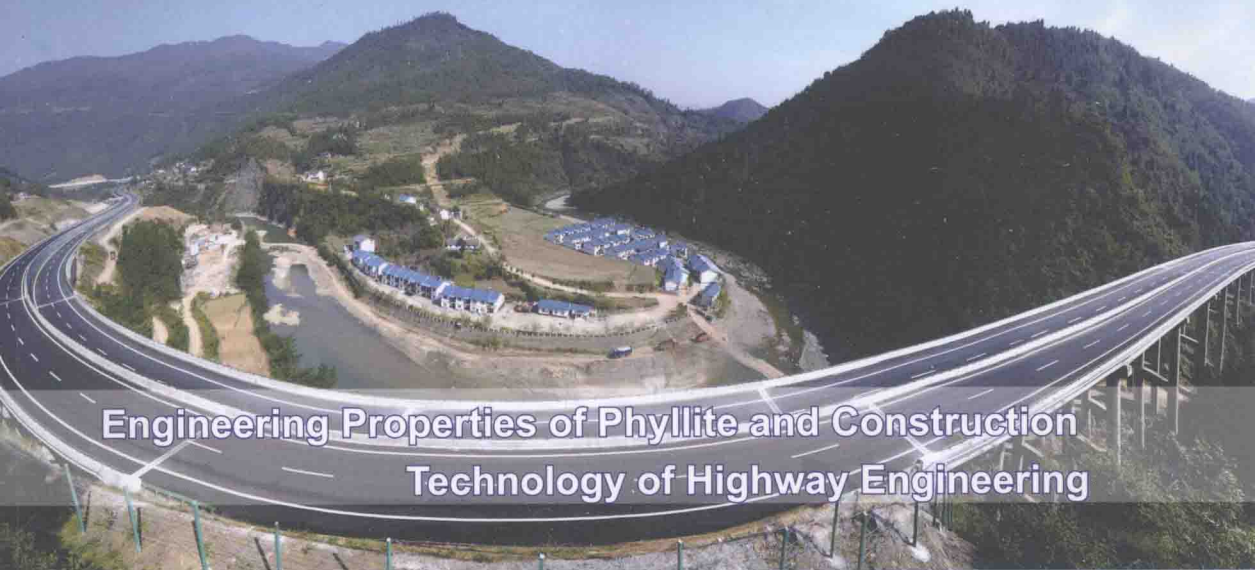




Engineering Properties of Phyllite and Construction
Technology of Highway Engineering

千枚岩的工程性质与 公路工程建筑技术

本书编委会 编写



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

千枚岩的工程性质与公路 工程技术

本书编委会 编写



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书主要从千枚岩的工程性质研究与公路工程建筑技术经验两个方面进行阐述,对四川高速在千枚岩地区公路建设经验与成果进行总结。

本书第1章主要从土木工程建设的角度对千枚岩及其开挖弃料的性质进行了分析;第2章主要对千枚岩及千枚岩开挖弃料的水理与级配特性进行了分析,实践证明,千枚岩的这两个特性对土木工程建设的影响最大;第3章对千枚岩石及千枚岩开挖弃料用作路堤填料的力学性质进行了分析,结果表明,在公路重型压实标准下,千枚岩开挖弃料用作路堤填料在力学方面是可满足设计要求的;第4章依据千枚岩开挖弃料的不利性质,阐述了其用作路堤填料的工程技术,重点在于设置防水工程措施技术;第5章简述了千枚岩体隧道施工与边坡防护技术,重点提示要注意千枚岩产状的倾向尤其是倾角的影响;第6章主要是技术汇总与总结,目的在于为读者对千枚岩工程问题提供简易的经验与认识。

本书可供公路路基设计、施工、科研人员以及相关地区公路建设管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

千枚岩的工程性质与公路工程建筑技术/《千枚岩的工程性质与公路工程建筑技术》编委会编写. —北京:人民交通出版社股份有限公司,2014.7

ISBN 978-7-114-11416-8

I. ①千… II. ①千… III. ①千枚岩—岩石性质②千枚岩—道路工程—建筑工程 IV. ①P588.34②U415

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 094761 号

书 名: 千枚岩的工程性质与公路工程建筑技术

著 作 者: 本书编委会

责任编辑: 郑蕉林 潘艳霞

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpress.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 720×960 1/16

印 张: 10.5

字 数: 179 千

版 次: 2014 年 7 月 第 1 版

印 次: 2014 年 7 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-11416-8

定 价: 35.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

《千枚岩的工程性质与公路工程技术》

编 委 会

主 编:刘保健

主 审:谢永利

副 主 编:唐 勇 王孝国 张政国 曾 忠

周大川

参编人员:(按姓氏笔画排序)

王虎全 王 杰 许国敏 刘长风

朱虹宇 李 洲 杨 松 杨 帆

吴跃华 张健铭 胡培军 范 波

钟 鸣 唐 兵 唐继文 喻 伟

裴非飞 赵丽娅

前言

FOREWORD

千枚岩在公路工程建设中主要涉及两方面要解决的问题：一是因为千枚岩是一种软岩，公路设计规范不允许将其用作路堤填料，若通过研究，把千枚岩开挖弃料用作路堤填料，则可为工程节约费用，也可减少堆放弃料产生的环境风险。四川高速、四川交通厅科技处、长安大学公路学院密切合作，经过研究初步解决了这个问题。表明只要采取可靠的防排水工程措施，千枚岩开挖弃料用作路堤填方料在技术上是安全的。

需要解决的另一个问题是涉及千枚岩体的隧道或边坡工程，本书的研究工作表明，若千枚岩体过于破碎，隧道的开挖与支护就不适用于经典的新奥法，需有强支撑的成分。又因为千枚岩是成层岩，本书的研究表明，在设计与施工中要注意千枚岩的产状，尤其是千枚岩的倾角对隧道结构受力和边坡的稳定会产生重要的影响。

本书对千枚岩的工程特性研究与在公路工程中的应用进行了初步的探讨，其成果对有千枚岩的山区公路建设有指导价值，可供相关人员参考。

作 者
2014 年 6 月

目录

CONTENTS

第1章 从土木工程建设角度看千枚岩	1
1.1 从路堤填筑实践看千枚岩弃料	1
1.2 千枚岩石的工程特性	3
1.3 千枚岩开挖弃料的物理特性	4
1.4 千枚岩开挖弃料的力学特性	6
第2章 千枚岩及千枚岩开挖弃料的物理特性	10
2.1 千枚岩石的构成与构造	10
2.2 千枚岩石的水理特性	13
2.3 千枚岩弃料的物理特性	14
2.4 填方用千枚岩开挖弃料级配变化的影响因素分析	15
第3章 千枚岩及千枚岩开挖弃料的力学特性	42
3.1 千枚岩石的力学特性	42
3.2 千枚岩开挖弃料用作路堤填料的力学特性	61
第4章 千枚岩开挖弃料的应用与防护工程技术	88
4.1 千枚岩开挖弃料用作路堤填料的工程技术	88
4.2 山区公路建设中千枚岩弃料场的布设技术	101
4.3 广甘高速千枚岩开挖弃料的应用与防护工程技术总结	111
第5章 千枚岩体工程的设计、施工与防护技术	113
5.1 千枚岩体隧道的设计与施工技术	113
5.2 千枚岩体边坡的设计、防护与监测技术	142
第6章 千枚岩地区公路建设技术总结	152
参考文献	156

第 1 章 从土木工程建设角度看千枚岩

千枚岩广泛分布在我国西南地区,是一种具有千枚状构造的低级变质岩石。由于长期受风化和地震作用的影响,土木工程涉及的千枚岩体一般都相当破碎。

目前,国内外对涉及土木工程千枚岩特性的研究相对匮乏,尚缺少针对其物理力学性质及其工程特性研究的总结,这对于在高速公路建设中利用千枚岩弃料作为填方材料很是不利。

土木工程界对于千枚岩的研究可以分为两种类型:一是对千枚岩块料物理力学特性的研究;二是对千枚岩开挖弃料用作填方材料时物理力学特性的研究。

1.1 从路堤填筑实践看千枚岩弃料

根据公路路基设计规范,千枚岩是一种特殊的软弱岩土材料,要限制使用,为此,陕西省交通运输厅、甘肃交通质检总站专门下文进行了规定:原则上,泥页岩、千枚岩不能用作路基填料。如果条件受限,必须采用泥页岩、千枚岩作为路基填料时,应严格控制风化石料使用,并应填筑在原地面 1.5m 以上,路床设计高程顶面 1.5m 以下范围内,其上下及周边应有适当的封闭措施,防止雨水渗入。碾压应选用拖式振动碾压设备,松铺厚度不得大于 30cm。同时要对填筑材料进行饱和抗压强度试验,根据不同强度的石料,采用不同压实控制标准。

路堤填方一般都需要大量的土方,但平原地区(例如开封)缺土料,山区更缺,这就迫使填方工程必须要用开挖弃料,甚至是规范限制使用的千枚岩软料。

早在 20 世纪 60 年代,日本的薄宫林和小岛^[69],便将沉积的软弱岩料用于日本在东名高速公路挂川段、中原国道的西宫段、庄原段等处,但在道路运营过程中出现了大量工后不均匀沉降。而其中主要影响其路用特性的原因是沉积软岩在浸水条件下易发生粉化,最终导致在荷载作用下发生翻浆冒泥。

随着高速公路建设的发展,国内部分学者开始进行软岩用作路基填料的合理性研究。毛雪松^[15]等人对十堰至天水高速公路安康东段路基的千枚岩填料在浸水时的工程特性进行了相应的研究,并进行湿化变形及回弹模量的现场测试,提出有关千枚岩填料的现场填筑方案。毛雪松还对强风化软岩填筑路基的工程特性进行了具体研究,包括击实性能、级配特性、加州承载比等。



郑新明^[61]基于武广客运铁路专线沿线所特有的大量软质千枚状板岩和泥质粉砂岩,不仅对风化软岩的基本矿物成分进行了分析,同时对其耐崩解性、力学强度特性、击实特性等进行初步分析,最终判定了千枚岩作为路基填料的可行性,并给出了判定方法。

武昌至广州客运专线途经大量元古界及白垩系全风化及强风化泥质板岩、砂质千枚状板岩等软岩地段,方焘^[48]等人对风化千枚状板岩填料力学特性进行了试验研究。试验结果表明,砂质千枚状板岩软化效应强烈,软化系数范围为 0.24~0.31,泥质千枚状板岩的软化效应极强烈,其值为 0.32~0.36,这说明泥质千枚状板岩与砂质千枚状板岩浸水后极易软化,水稳定性不好。

但汉成^[37]等人对风化软岩路基填料击实工程特性进行室内试验研究,表明其粒度组成会随着碾压过程及暴露时间而变化。长安大学刘保健、赵丽娅对广甘高速公路(以下简称“广甘高速”)的千枚岩开挖弃料进行了研究。结果表明:其颗粒大小与级配是随机变化的;认为对千枚岩开挖弃料级配特性的研究是其所有研究工作的基础;相对破碎的千枚岩块浸水崩解;按重型标准压实的千枚岩弃料样具有湿陷和浸水崩解的特征;水泥固化的千枚岩弃料可用作建筑材料;千枚岩开挖弃料按重型压实标准可满足填方路堤的力学要求,但不满足水稳和变形(湿陷)要求,采取相应的防排水措施可满足路堤填方的要求。

赵磊^[16]等人对千枚岩弃渣用作路基填料的水稳定性进行了试验研究。结果表明:千枚岩填料击实后,随着含水率的增加,其最终崩解量逐渐减少,经历时间逐渐增加,崩解速率随之减少。当平均含水率为 2.75% 时,崩解量很大,速度快,崩解量为 69.95%,在 10min 之内崩解稳定,崩解速度为每分钟 7.0%。当平均含水率为 4.76% 时,崩解量中等,崩解量为 45%,速度也较第一种慢,20min 达到崩解稳定,崩解速度为每分钟 2.5%。当平均含水率为 7.37% 时,崩解性最小,崩解量为 27.35%,崩解速度也最慢,在 30min 之内完成崩解,崩解速度为每分钟 1.05%。这也是个非常重要的研究结果,对制定利用千枚岩弃料填筑路的设计和施工措施具有指导意义。

杨烨^[31]等人对千枚岩基本特征进行室内试验,推荐千枚岩路基的填筑方案为:路基水位线以上、路床顶面 1.5m 以下部分采用千枚岩做填料,路床顶面 1.5m 以上及路基水位线以下部分换填砂砾石。这个建议与陕西省交通运输厅、甘肃交通质检总站要求是一样的。

可见,千枚岩开挖弃料用作路堤填方,在重型压实标准下,各项强度指标是满足要求的,但针对遇水湿陷、浸水分解的问题,必须采取相应的工程措施解决。



1.2 千枚岩石的工程特性

对千枚岩体、岩石的研究主要应用于大坝工程、隧道工程、桥梁工程、边坡工程。相对于隧道和桥梁工程,大坝工程单位面积上投资大、工程重要性和风险性高,则研究花费和取得的成果相对多些。对于隧道和桥梁工程,在工程勘察时虽都对岩石的相关常规力学性质进行了试验检测,但研究工作的深度和成果都很小,而相对比较重视和取得较多成果的是隧道的施工工艺研究。

1994年,印度学者 T. Ramamurthy 发表了《千枚岩的工程性质》一文,主要解决在喜马拉雅地区修筑水电站的岩基问题。他主要对千枚岩石样显著的层理结构进行了与软弱面不同夹角的物理、力学工程性质试验研究。他的研究成果为隧道工程、边坡工程、桩基工程的设计与施工提供了参考。

2001年,权七一^[65]总结与分析了千枚岩体构造对渡水槽桩基础的危害及原因,其研究成果对目前已建和拟建在千枚岩体上的桥梁桩基有参考作用。

成都理工大学的郑达、巨能攀^[17],以拟建的金沙江某水电站坝址绢云母千枚岩与硅质板状千枚岩为研究对象,通过岩石的单轴与三轴抗压强度试验研究,总结了千枚岩的岩石强度相对于其软弱结构面和加载下压应力夹角(定位角)的变化规律,并采用各向异性率指标定量评价千枚岩的各向异性程度。结果显示,千枚岩的岩石强度参数在定位角为 30° 左右时为最小值,定位角为 90° 时达到最大值;岩石各向异性特征在单轴抗压强度方面的敏感性较高。

湖南省地质工程勘察院张文珍、河北水利水电勘测设计院左辉^[52],对黄壁庄水库建筑物的大理岩及千枚岩基岩,进行了风化特征及工程地质特性的研究,提出了相关的物理力学性质指标。

中铁五局的王丙堤分析了乌鞘岭隧道岭脊段千枚岩地质变形特征,并根据其变形特征选取科学合理的施工方法,从而有效地控制围岩大变形的发生。

中铁第四勘察设计院的顾洪源和陈寿根^[42],通过对锦屏辅助洞千枚岩洞段隧洞开挖、锚喷和模筑混凝土支护的全过程计算机仿真,探讨了采用离散单元法程序 L. D L, C 在隧道施工全过程仿真模拟的应用,并对该段锦屏辅助洞的围岩变形进行了分析,为隧道施工、检测、设计提供了理论依据。

鞍钢集团鞍山矿业公司的何振海、宋少军、曹宗明在《眼前山铁矿上盘千枚岩边坡研究》一文中,对矿体上盘碳质千枚岩边坡的天然赋存状态,碳质千枚岩的岩体强度,地下水对边坡稳定性的影响程度,通过反复的野外实地考察,配合试验手段,查阅、分析、归纳已有的各种资料和文献,探讨了其本质和规律性。



1.3 千枚岩开挖弃料的物理特性

1.3.1 千枚岩开挖弃料的物理与化学组成

长安大学成矿作用及其动力学实验室,对广甘高速的绢云母千枚岩和石英白云母千枚岩进行了偏光显微岩矿鉴定,矿物成分及含量各为:绢云母千枚岩:绢云母 79%、绿泥石 14%、钠长石 7%;高岭石微量;石英白云母千枚岩,石英 29%、白云母 56%、绿泥石 6%、不透明矿物(常石类集合体和黄铁矿)9%,碳酸盐微量。其中绿泥石分布在云母片层状之间。从鉴定成果看,云母含量高是广甘高速千枚岩岩石较软弱,开挖弃料级配随机变化,压实料遇水湿陷、浸水崩解的主要原因。

毛雪松^[15]等人对十堰至天水高速公路安康东段千枚岩进行分析发现,石英含量为 50%左右,白云母含量大于 45%,还含有少量的黑云母、石榴石、磁铁矿等。

赵磊^[16]等人对湘潭市昭山大道路千枚岩路基填料进行 X 射线衍射分析结果显示,土的矿物组分主要为石英,其次是高岭石和伊利石,蒙脱石含量很少。

刘新喜^[54]等人对武广客运专线途经大量的全风化及强风化泥质板岩、千枚状板岩等软岩地段的进行矿物分析研究结果显示,弱风化泥质板岩矿物成分以白云母和石英为主,并含有绿泥石、高岭土和蒙脱石等黏土矿物,石英含量不高,填料性质不太稳定。白云母的含量高达 46%,白云母若浸水后处于游移状态,路基会产生松弛效应。

赵磊^[16]等人对清水隧道碳质千枚岩围岩的化学成分中 SiO₂ 含量为 46.24%,其次,按含量大小依次为 Al₂O₃、Fe₂O₃、K₂O、MgO、CaO、Na₂O 和 Ti。这 8 种成分占 88.05%。其他化学元素的含量总共为 3 023.6μg/g,其中以 Mn、P 和 Zn 最多,合计达 2 073μg/g,占其他元素总量的 68.5%。与其他类型变质岩比较,清水隧道千枚岩弃渣中的 Al₂O₃ 较高,CaO 较少,Al₂O₃/(K₂O+Na₂O) 比值为 3.1,且 K₂O 的含量大于 Na₂O 的含量,应属于泥质变质岩类。

1.3.2 千枚岩开挖弃料的颗粒大小与级配

因为土的工程特性与其颗粒大小、级配密切相关,千枚岩开挖弃料若填筑后再实测其颗粒级配是可行的,但又是无意义的,有意义的工作是根据各种填筑作用,预估其颗粒级配,这样对设计工作才有用。长安大学的刘保健教授认为,研究千枚岩开挖弃料颗粒级配的影响因素是所有填方应用工作的基础。

千枚岩开挖弃料是一种随机分布的混合料,大颗粒可以达到 100cm 以上,



小颗粒可以细到微米以下,在运输、堆填、碾压、夯击、振动荷载作用下,小颗粒一般变化不大,大颗粒变化较大,总的趋势是越变越细,越变越均匀。因此,重点研究千枚岩开挖弃料中的块料级配变化是工作的重点。

长安大学的刘保健、赵丽娅、毕冉^[9]、卢笑^[10]、田鹏程^[11],在千枚岩开挖弃料颗粒级配研究上做了许多工作,取得的科研成果概况如下:

千枚岩开挖弃料中块料是颗粒级配变化的主要成分,把块料区分为肉眼可辨、人工可分的相对完整与相对破碎块料具有重要的实用意义。若千枚岩开挖弃料中的相对完整与相对破碎岩块是可人工分检与计量的,且又通过试验定量取得了各自在不同作用(运输、堆放、碾压、夯击、振动)下颗粒大小的变化,则长安大学刘保健开发的计算模型可预估其变化后总体的级配曲线。

长安大学博士研究生毕冉开发的分形算法可定量对千枚岩开挖弃料的各种级配进行工程作用评估。

长安大学硕士研究生卢笑和田鹏程的试验结果表明,静压和击实会使弃料中某些粒径变小,且存在静压和夯击能的界值,表面振动对千枚岩弃料级配的影响不大。水的作用也是影响级配变化的因素之一。

1.3.3 压实、夯击、表面振动、浸水对颗粒大小与级配的影响

长安大学的研究表明,压实、夯击、表面振动、浸水对颗粒大小与级配都有影响。但汉成^[37]等人的试验研究指出:元古界板溪群及冷家溪群千枚状板岩分布在武昌至广州客运专线。野外特征描述为外观为黄色,风化面呈浅灰黄色,湿润后呈灰黄色,组织结构大部分破坏,矿物成分显著变化,含有一定量黏土矿物,风化裂隙很发育,岩体破碎,被切割成碎块,全风化至强风化呈块石土状,天然基岩主要呈泥状结构。干时可用手折断或捏碎,浸水或干湿交替时,可较快地软化成泥状,用镐或锹可挖掘,干钻可钻进。软岩作为路堤填料具有自身的特殊性,其粒度组成会随着碾压过程及暴露时间而变化。

赵磊^[16]等人的千枚岩弃渣试验研究指出:击实后的级配曲线明显全部上移,说明试样经过击实后,击实样颗粒均有较明显的破碎变细现象。击实后试样的不均匀系数明显变大,而曲率系数则显著降低,普遍从未击实前的大于3.0变为击实后的小于3.0,并且趋于相同,从级配不连续变为级配连续,且不均匀系数远大于5,说明击实后可以达到级配良好。

叶阳升^[63]指出:在德国,为了研究施工阶段的运输、储存和填筑以及运营阶段动力荷载等对细颗粒含量增加的影响,通常对同一组填料进行5次普式击实(轻型)然后确定其粒径分布,并与未进行击实的同组填料进行对比。中铁一局



武广客运专线中心试验室也得到与德国标准几乎对等的结果:细颗粒含量随着击实次数的增加而增加。经过 5 次击实,细颗粒含量由 4.9% 增加到 26.7%,即增加了 21.8%,将近 5 倍。长安大学的研究方法类似于该方法,但技术水平又高于该方法。

方焘^[48]等人对风化千枚状板岩填料力学特性进行了室内击实试验和表面振动仪试验研究,表明击实试验结果与软岩材料的颗粒级配有关,对不同颗粒级配试样,得到的击实试验结果有一定差别。试验还表明颗粒级配对压实指标影响不是很大,但细颗粒土的增多,会影响其最大干密度和最佳含水率,其规律是细颗粒土含量越多,最大干密度减小,但其最佳含水率却增大。

1.4 千枚岩开挖弃料的力学特性

1.4.1 千枚岩开挖弃料的压实特性

千枚岩开挖弃料主要的用途是路堤填料,这就涉及它的压实特性。在公路路堤设计与质检中,主要指标为压实度,它是填方现场实测干密度与室内击实试验获取的最大干密度的比值。特别需要注意的是:路堤填方可用各种土料,其中,粗粒料最好,而室内击实试验仅适用于粗粒含量少于 30% 的细粒土,因为粗粒料一是不具有干密度随含水率变化且有唯一最大与最优值的特性,二是粗粒料在小尺寸击实仪中易形成骨架或局部骨架影响锤击作用,不满足击实仪采用夯击、排气达到土密实的目的。目前存在的问题是:现场填料若是粗粒料或者是粗粒料为主的混合料,则设计和检测都是可行的,但击实试验就不满足理论和实际要求。严格讲,压实度 K 在设计上是可行的,但击实试验在实际中是不允许的,可目前行业内又是因为没有别的选择还是用击实试验做的。这种状况造就了许多不是问题的问题。例如因为填料是粗粒料或是以粗粒料为主的混合料,在质检中实测的压实度大于 100% 或怎么也达不到 100%。这实质上与现场压实没有关系,而是压实度定义中的分母——击实试验不适用于粗粒料,压实度的分子与分母压实能量不相适应的缘故。对于这个问题,学界已有解决办法,关键是行业,尤其是规范要跟上要求,适时修改。

广甘高速部分路堤填筑的是千枚岩开挖弃料,现场实测的平均干密度约为 $2.17\text{g}/\text{cm}^3$,击实试验得出的也基本是这个值。

赵磊^[16]等人对兰渝铁路清水隧道的千枚岩弃料进行击实试验,击实后的试样黏结力较弱,用手即可轻易掰断。获取的最大干密度为 $2.4\text{g}/\text{cm}^3$;最佳含水率为 5.35%。



方焘^[48]等人对武广客运专线千枚状板岩进行重型标准的击实试验,多次测得的最大干密度为 $1.94 \sim 1.96 \text{ g/cm}^3$,最佳含水率为 $10.5\% \sim 14.5\%$ 。

熊跃华^[44]等人对武广客运专线枚状岩采用重型击实试验,测得最大干密度为 $1.83 \sim 1.928 \text{ g/cm}^3$,最佳含水率为 $11.75\% \sim 16.59\%$ 。

研究表明,千枚岩开挖弃料是可压实的,且压实后也符合公路压实度的要求。

1.4.2 千枚岩开挖弃料压实后的强度与压缩特性

填方路堤设计中最关心的是填料的 CBR 强度值、抗剪强度值与模量值。

广甘高速千枚岩开挖弃料的压实度与 CBR 测试值如表 1-1 所示。

广甘高速千枚岩开挖弃料的压实度与 CBR 测试值

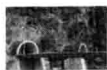
表 1-1

击实次数	干密度(g/cm^3)	压实度(%)	CBR 值(%)
98	2.12	100	33.1
50	2.06	97	24
30	2.00	95	15.4

由表 1-1 可见,各值满足公路设计的要求。

刘新喜^[54]等人对千枚岩弃料分 95%、93%、90% 不同压实度做承载比 (CBR) 试验。试验结果表明,随着压实度的提高,CBR 值也增大,CBR 实测值的范围为 $1.62\% \sim 19.99\%$ 。抗压强度为 $21.3 \sim 23.8 \text{ MPa}$ 。

但汉成^[37]等人对粒径小于 38mm 的千枚状板岩强风化及全风化混合料,分击数为 30、50 和 98 的击实试件进行固结试验,其压缩模量测试结果为 $E_s = 12.82 \text{ MPa}$,压缩系数 $\alpha = 0.106 (\text{MPa})^{-1}$,接近低压缩性土指标;CBR 值的范围为: $36.6\% \sim 9.3\%$;重型击实试件的直剪试验结果,在压实度为 98% 时,内摩擦角为 $25.7^\circ \sim 27.9^\circ$,平均值为 26.52° ,黏聚力为 $76.5764 \sim 78.64 \text{ kPa}$,平均值为 77.6 kPa 。说明千枚岩全风化料抗剪强度性能较好,用其填筑路堤边坡稳定;击实试件的回弹模量随每层击数变化的测试结果一般在 15.0 MPa 以上,且随击数的增加而增大,最大值为 52 MPa ,击数为 98 时的平均值为 42 MPa 。综合来看,千枚状岩强风化及全风化混合料击实试件室内 CBR 测试值随颗粒粒径的减小而有所减小,CBR 值随泡水时间的延长而减小,随着试件击数的增加,CBR 值相应增大。最大颗粒粒径由 38mm 减至 20mm,CBR 值平均减小 5% 左右,最大减小 20%。CBR 值随泡水时间的延长而减小,如最大颗粒粒径为 38mm、98 击时,其值分别减小 13%、25%、32%。最大颗粒粒径为 38mm,击数从 30 击增至 50



击时,不同泡水时间试件 CBR 值增加 42%~104%;击数从 50 击增至 98 击时,不同泡水时间试件 CBR 值增加 13%~28%,随着击数的增加,CBR 值增幅在减小。

1.4.3 千枚岩开挖弃料压实后的浸水特性

长安大学的刘保健、赵丽娅对广甘高速千枚岩开挖弃料,按重型压实标准、压实度为 100%、干密度为 $2.16\text{g}/\text{cm}^3$ 的试样进行类似黄土的湿陷试验,结果表明其具有湿陷特性。需要强调的是,压实黄土一般是不具有湿陷特性的,特别是按重型击实标准制样的黄土更不具备湿陷特性。可见,千枚岩开挖弃料压实样具有不常见的性质,需要高度重视,这也是对压实千枚岩弃料样特性最重要的发现。长安大学的研究还表明,按上述标准压实的试样,浸入水中仅 1min 就完全崩解,这也表明千枚岩开挖弃料是一种少见的分散性土。

按长安大学的上述发现,在利用千枚岩开挖弃料填筑路堤时,要考虑湿陷变形量,要采取工程措施防水,以防土体流失。

赵磊^[16]等人进行的千枚岩弃渣用作路基填料水稳定性试验,主要模拟强夯加固后再浸水可能产生的填料崩解的变化规律。从试验结果看,千枚岩填料击实后,随着含水率的增加其最终崩解量逐渐减少,经历时间逐渐增加,崩解速率随之减少。这说明,该种千枚岩在击实后耐崩解性随含水率的增加而增强,崩解速度随之减慢。

该研究结果给出启示是,千枚岩开挖弃料压实时增大含水率,可能会对浸水稳定增加有利因素。

刘新喜^[54]等人对强风化软岩路基填筑适宜性进行了研究,在进行击实试验可以发现,强风化软岩对含水率比较敏感,当含水率较低时,颗粒表面水膜较薄,摩擦阻力较大,不易压实。若含水率增大到合适的范围,颗粒表面水膜增厚,起到了润滑作用,摩擦阻力减小,从而易于压实,存在最优含水率和最大干密度,强风化软岩的抗压强度较小,经压实后最大干密度达到 $2.11\text{g}/\text{cm}^3$ 。

为了模拟试样在不同荷载作用下压缩稳定后的浸水反应,特地设计了一种类似黄土或膨胀土的湿化变形试验。对土在压实度为 95%情况下的湿化变形进行了测定,表明在大于 40kPa 的外荷作用下,可能产生微量的湿化压缩沉降,而绝不会膨胀隆起,也就是说,在 1m 厚上覆土自重压力下,填料不可能产生任何湿胀,最大的湿陷量也只有整个填筑层厚 H 的 1.5%(注:这个量已很大,表明具有湿陷性)。由此可认为,强风化软岩不具有膨胀性,这说明该强风化软岩是一种较好的路基填筑材料。



1.4.4 千枚岩开挖弃料的三轴试验特性

长安大学的研究人员依据广甘高速千枚岩开挖弃料的物理特性,对其进行适应了粗料土混合料的大三轴试验,较为实际地探清了其三轴力学特性,并建立了应力、应变本构关系,为后续的研究提供了基础。

刘新喜^[54]等人对千枚岩强风化软岩路基填料进行了三轴剪切湿化变形研究。为了研究湿化变形,一类样按设计施工的干密度、含水率进行,另一类干密度不变,但试样饱和。分别用3级固定围压固结,然后剪切至破坏。从干湿双线法试验可以看出:干线试验的应力—应变关系基本上呈双曲线规律。湿线试验所得的应力—应变关系曲线和强度指标与物性指标间的关系较为密切,规律性更强,表明填料浸水后,土质更趋均匀,人为的大孔隙大都被破坏。为探讨复杂应力条件下强风化软岩填料湿化变形特性,试验仪器采用改装的应力控制的国产三轴剪切仪,在规定的不同 $(\sigma_1 - \sigma_3)/\sigma_3$ 比值下,对试样灌水使之湿化。同时测定湿化引起的附加轴向变形和体积变形,然后继续对已湿试样增加 $\sigma_1 - \sigma_3$,直至破坏。得到如下规律:

(1)随着偏应力的增大,附加的湿化变形也增加;但随压实度的增大,湿化变形也随之减小。

(2)在围压较小时(50kPa),无论偏应力增加多少,湿化时总产生体缩;当中等围压时,湿化可能产生有胀有缩相互交替出现的现象。

(3)在围压较大时(200kPa),无论偏应力增加多大,湿化总是产生体胀,不会剪缩,且随偏应力增大,体胀也随之增大。

方焘^[48]等人对泥质千枚岩弃料试样进行三轴试验,试验在英国GDS动三轴系统上完成,采用浸水快剪试验,可以得出压实度为98%时的强度指标为内摩擦角 $\varphi=5^\circ\sim 15^\circ$,黏聚力 $c=62\sim 78\text{kPa}$ 。在没有浸水条件下,对同一组试样进行了不浸水三轴试验,当压实度为98%时,泥质千枚岩弃料试样的内摩擦角平均值为 $20.3^\circ\sim 22.2^\circ$,黏聚力为 $63.8\sim 79.2\text{kPa}$ 。作者指出:当用千枚岩弃料填筑路基时,应注意加强防水,否则可能出现因填料浸水软化强度降低而导致路堤失稳。

可见,千枚岩开挖弃料按规范要求不能用作路堤填料,但因各方面原因,实际上已开始将其用作路堤填料。已有实践证明,将其用作路堤填料在强度上问题不大,主要是水稳特性满足不了工程要求,需采取各种措施加以解决。将千枚岩开挖弃料用作路堤填料时,因颗粒级配随机变化,则对其研究应成为其他研究工作的基础。

第2章 千枚岩及千枚岩开挖弃料的物理特性

2.1 千枚岩石的构成与构造

千枚岩是具有千枚状构造的岩石。主要由细小的绢云母、绿泥石、石英等矿物组成,岩石具细粒鳞片变晶结构,片理面上具有明显的丝绢光泽,并常具皱纹构造,见图 2-1。

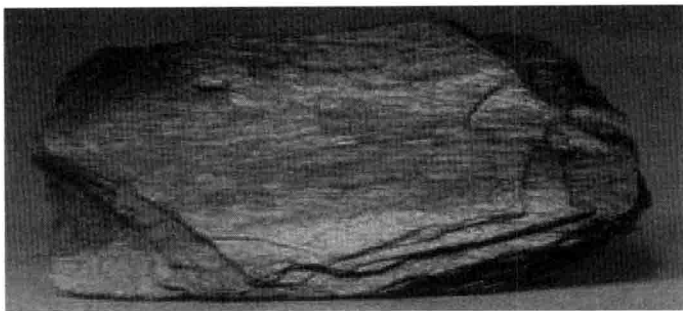


图 2-1 千枚岩岩石

千枚岩是低级变质岩石。原岩通常为泥质岩石、粉砂岩及中酸性凝灰岩等,经区域低温动力变质作用或区域动力热流变质作用形成。显微变晶片理发育面上呈绢丝光泽。变质程度介于板岩和片岩之间。

千枚岩典型的矿物组成为绢云母、绿泥石和石英,可含少量长石及碳质、铁质等物质。有时还有少量方解石、锥晶黑云母、黑硬绿泥石或锰铝榴石等变斑晶。常为细粒鳞片变晶结构,粒度小于 0.1mm,在片理面上常有小皱纹构造。原岩为黏土岩、粉砂岩或中酸性凝灰岩,是低级区域变质作用的产物。因原岩类型不同,矿物组合也有所不同,从而形成不同类型的千枚岩。如黏土岩可形成硬绿泥石千枚岩;粉砂岩可形成石英千枚岩;酸性凝灰岩可形成绢云母千枚岩;中基性凝灰岩可形成绿泥石千枚岩等。千枚岩可按颜色、特征矿物、杂质组分及主要鳞片状矿物进一步划分为银灰色绢云母千枚岩、灰黑色碳质千枚岩及灰绿色硬绿泥石千枚岩等。千枚岩分布很广,可形成于不同地质时代。

千枚岩的主要岩石类型有绢云母千枚岩、绿泥千枚岩、石英千枚岩、钙质千



枚岩、炭质千枚岩等。

通过偏光显微观测可对岩石进行鉴定,长安大学成矿作用及其动力学试验室,对广甘高速的绢云母千枚岩和石英白云母千枚岩进行了矿物鉴定。结果为:

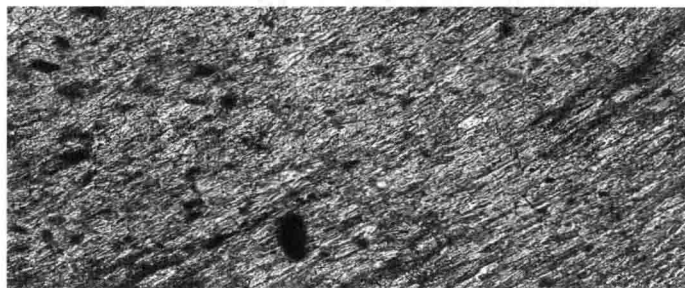
绢云母千枚岩含:绢云母 79%;绿泥石 14%;钠长石 7%;高岭石微量。

石英白云母千枚岩含:石英 29%;白云母 56%;绿泥石 6%;不透明矿物(常石类集合体和黄铁矿)9%;碳酸盐微量。

其中,绿泥石分布在云母片层状之间。从鉴定成果看,云母含量高是千枚岩岩石较软弱、开挖弃料级配随机变化、压实料遇水湿陷、浸水崩解的主要原因。图 2-2 为观测的广甘高速千枚岩石偏光显微图。



a) 定向排列的白云母和重结晶的钠长石(长边0.7mm)



b) 和绢云母共生的微晶绿泥石(长边0.7mm)

图 2-2 观测的广甘高速千枚岩石偏光显微图

偏光显微可以根据晶体光学对岩矿进行鉴定,而实体显微观测可对其结构进行观察,图 2-3 是长安大学对广甘高速相对破碎千枚岩石实体显微图。

从图 2-3 可以看出,相对破碎千枚岩石的平行排列状云母因受外力作用而扭曲变形,这是其容易进一步破碎和遇水崩解的外观原因之一。

毛雪松^[15]等人对十堰至天水高速公路安康东段千枚岩进行分析发现,石英含量为 50%左右,白云母含量大于 45%,还含有少量的黑云母、石榴石、磁铁矿