

DOI:10.19948/j.12-1471/P.2023.02.11

胶东白垩系泥岩矿物成分、 工程破坏特性及应对措施研究

李鹏¹,高雪莲²

(1.中国铁路设计集团有限公司,天津 300142; 2.天津石油职业技术学院,天津 301607)

摘要:在我国胶东地区广泛分布的白垩系上统王氏群泥岩,属于极软岩,一般具膨胀特性。该地层吸水、失水后,产生胀缩现象,对建设工程带来极大的安全隐患。本文通过对该泥岩进行矿物成分分析、崩解机制分析和膨胀特性试验指标研究,基本掌握了该地层的工程破坏基本特征,并通过各项试验指标提出了针对该地层的工程应对措施方案,可达到避免或者减小该地层对工程建设和运营造成的安全隐患。本文研究成果可为该地区同类工程建设和运营提供借鉴意义。

关键词:胶东;白垩系;泥岩;矿物成分;工程破坏特性

中图分类号: TU45

文献标识码: A

文章编号: 2097-0188(2023)02-0079-10

高速、快速铁路、高速公路及地铁工程等一大批基础设施建设项目已成为实现大中城市经济带和开展“一带一路”战略的重要组成部分^[1]。我国幅员辽阔,地形地貌和地质构造非常复杂,尤其是不良地质体泥岩在中生代、新生代地层中分布十分广泛^[2]。该类泥岩是泥岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩和粉砂岩的统称^[3],成岩程度差、岩体强度低,在天然状态下较为完整、坚硬,力学性能良好,但遇水后短时间内迅速膨胀、崩解、软化^[4];是“岩不岩、土不土、似岩非岩、似土非土”的介于岩石和土之间的过渡类型,归属软质岩石类;主要分布在广西南宁盆地、百色右江盆地和明江盆地等的古近系(N)和新近系(N)地层中^[5],以及四川盆地侏罗系(J)和三叠系(T)地层中^[5]。

我国胶东地区广泛分布的白垩系上统王氏群泥岩,厚度为数米至上百米不等,单轴天然抗压强度一般小于5 MPa,具有弱膨胀特性,是华北泥岩典型的代表。这种泥岩易引起边坡变形垮塌,隧道围岩变形侵限甚至坍塌^[6],成为限制山东半岛大规模建设的不良地质要素^[7]。我国胶东地区铁路、地铁和水利水电工程兴建过程中,在白垩系泥岩地层遇到了许多工程地质问题,但目前各界对于该类泥岩地层工程特性及其膨胀性研究不一,相关的规范、规程及手册也未总结出相关参数值^[8]。该类泥岩边坡为V级岩

体,但《建筑边坡工程技术规范》只总结出了I~IV级岩体边坡的等效内摩擦角,未准确给出泥岩V级岩体边坡的等效内摩擦角,《建筑边坡工程技术规范》只总结出了岩石单轴极限抗压强度 ≥ 10 MPa的基床系数值,未涉及本区胶东地区泥岩的基床系数值^[9]。关于膨胀岩的判定标准,业界进行了一些研究,但尚未形成统一标准。李志鹏等^[2]指出泥岩的工程性质劣化,主要与其矿物成分有关,但胶东地区白垩系上统王氏群泥岩的矿物成分及工程破坏特性机理缺少相关研究^[9-16]。为此,本文对胶东白垩系泥岩的矿物成分及工程破坏性质进行深入、系统的研究,为该地区工程建设提供理论支撑^[7],并提出针对该地层的工程应对措施方案。

1 研究区地质背景

研究区域位于山东省东部(图1),胶州湾的西岸,地势南高北低,南部为低山丘陵,中部为洋河冲海积平原,北部为胶莱冲积平原,共有大小河流27条,分布有大沽河、胶莱河、洋河三大水系。胶州地区属华北暖温带沿海季风区,大陆性气候。

研究区大地构造位置属胶莱凹陷区,区内褶皱、断裂构造总体不发育,总体为倾向南西的单斜构造。影响工程场区断裂构造及其活动性近场区断裂以北

收稿日期:2023-01-17

资助项目:中国铁路设计集团有限公司科技开发计划重点课题(TSY2023RD02)

作者简介:李鹏(1982-),男,硕士,高级工程师,毕业于长安大学构造地质学专业,E-mail:86148595@qq.com。

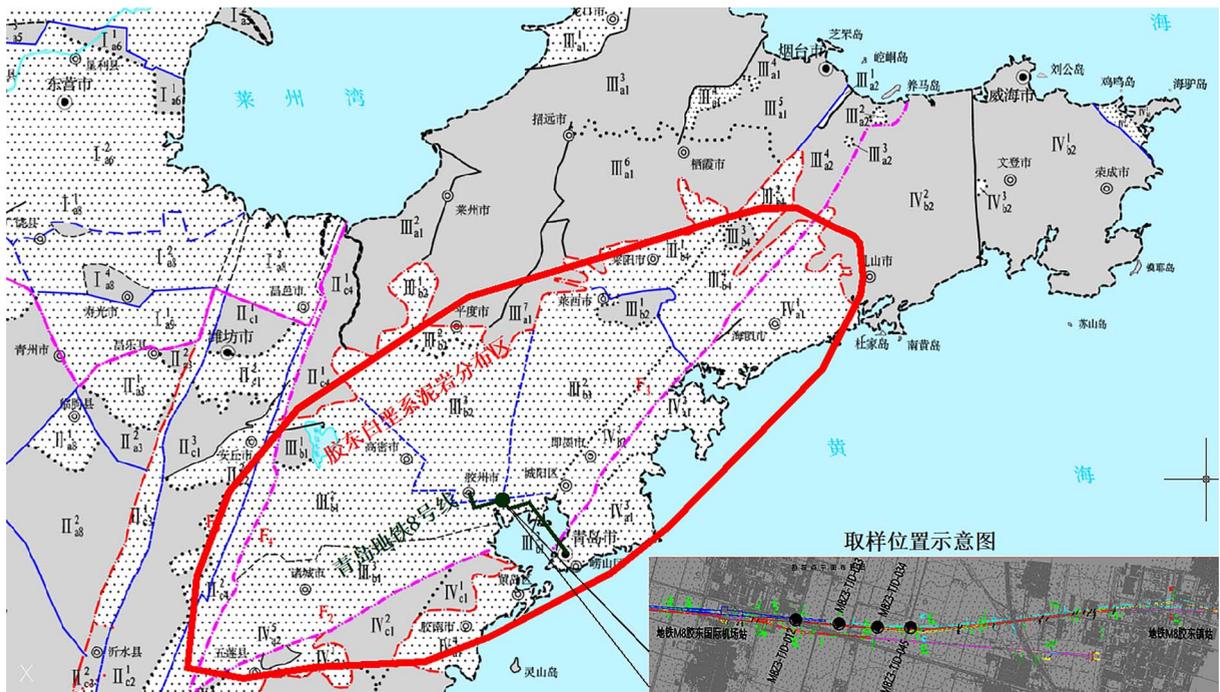


图1 胶东白垩系泥岩区域分布图及取样位置示意图

Fig.1 Regional distribution map and sampling location diagram of the Cretaceous mudstone in Jiaodong area

东向最为主,以沧口断裂、即墨断裂和胶州断裂最具典型。

研究区地下水主要赋存在第四系松散沉积物及基岩的裂隙中,第四系厚度0.50~10.50 m,下伏基岩为白垩系上统王氏群棕红色陆相泥岩夹薄层砂岩。

研究区内泥岩属于白垩系上统王氏群(K₂W)。王氏群陆源碎屑的碎屑物主要由岩屑、长石、石英等组成。根据碎屑组平均含量,王氏群沉积速率较慢,水动力条件较弱,为滨湖-浅湖相沉积。王氏群碎屑岩中杂基含量高,为杂基支撑,基底式胶结。王氏群为平行层理,未见斜层理,说明原始沉积物处于安静的沉积环境。王氏群以紫色、灰绿色调等杂色为特征,说明其形成环境为弱氧化-弱还原环境。本区王氏群滨浅湖沉积相由细砂岩、粉砂岩、粉砂质泥岩、泥岩等组成,发育水平层理,为湖泊静水沉积环境。

2 矿物成分分析

2.1 钻孔和采样

本次钻探取样点选取青岛胶东国际机场轨道交通结建工程M8线机场站(不含)至胶东镇站(不含)区间详勘钻孔4孔,每孔均取样1组20 cm岩芯,取样里程位置及深度详见表1。

通过钻探揭示,场区第四系厚度0.50~5.70 m,主要由第四系全新统人工填土层(Qm¹)、冲洪积层(Q_{al+pl})组成。基岩为白垩系上统王氏群(K₂w)泥岩(图2)。本次取样均为白垩系上统王氏群(K₂w)中风化泥岩(图3),呈棕红色-紫红色,泥质结构,厚层-巨厚层状构造,矿物成分以黏土矿物为主,结构部分破坏,矿物成分基本未变,节理发育,节理面见有铁锰矿染,锤击声哑,岩芯多呈柱-长柱状,一般节长15~30 cm,最大节长120 cm,锤击易碎,遇水易崩解软

表1 泥岩样品所含矿物的X-射线衍射测试结果

Table 1 X-ray diffraction test results of minerals contained in mudstone samples

样品编号	工地编号	岩芯	取样里程及地点	取样深度	岩石野外鉴定名称	矿物种类和含量/%						粘土矿物总量/%
						石英	钾长石	钠长石	方解石	白云石	赤铁矿	
1	M8Z3-TJD-012	岩1-3	右8AK2+847右8 m	13.0-13.4	中风化泥岩	21.4	0.7	8.3	16.4	/	2.1	51.1
2	M8Z3-TJC-033	岩2-1	右8AK3+623右8 m	15.3-15.7	中风化泥岩	19.1	8.3	28.1	13.6	/	0.4	30.5
3	M8Z3-TJD-045	岩1-1	左8AK8+376左8 m	18.6-18.8	中风化泥岩	18.5	1.4	3.9	16.1	4.3	1.8	54.0
4	M8Z3-TJD-034	岩1-1	右8AK7+966左8 m	24.1-24.3	中风化泥岩	32.4	1.1	4.9	48.7	/	1.0	11.9

地质时代	地层编号	层底深度 (m)	层底高程 (m)	层厚 (m)	岩层剖面 比例尺 1:200	地层名称及其特征	承载力特征值 (kPa)
Q ^{4pl}	⑦	1.80	6.86	1.80		粉质黏土: 黄褐色; 潮湿; 硬塑; 含少量砂粒; 有光泽反应, 切面光滑~粗糙, 见有铁锰氧化物条纹, 韧性。结构性一般, 具中等压缩性, 干强度中等。局部夹粉土及黏土薄层; 局部含较多姜石, 姜石粒径一般30~50mm。	180
K ₂ W	⑬ ₁	9.70	-1.04	7.90		强风化泥岩: 棕红色; 层状结构; 矿物成分以黏土矿物为主, 矿物风化蚀变较严重, 结构大部分已破坏, 矿物成分以显著变化, 岩芯呈碎块~短柱状, 柱体粗糙~稍光滑, 构造节理及风化裂隙较发育, 多为高角度节理, 节理面呈闭合~微张开状, 节理面见铁染现象; 岩芯遇水易崩解软化, 具有一定的可塑性, 干时表面出现裂纹, 易崩解, 干钻不易进尺, 采取率约80~90%。	400
	⑰ ₁	40.00	-31.34	30.30		中风化泥岩: 棕红色; 层状结构; 矿物成分以黏土矿物为主, 结构部分破坏, 矿物成分基本未变, 节理发育, 节理面见有铁锰矿染, 取芯较完整, 锤击声脆, 岩芯多呈柱~长柱状, 一般节长10~40cm, 最大节长80cm, 锤击易碎, 遇水易崩解软化, 采取率约85~90%。	600

图2 M8Z3-TJD-045地质钻孔柱状图

Fig.2 M8Z3-TJD-045 geological borehole histogram



图3 中风化泥岩样品

Fig.3 Moderately weathered mudstone sample

化,采取率约90%。岩体完整性指数0.52,判定该层岩体较破碎,岩体基本质量等级为V级。

2.2 样品制备及试验方法

X射线衍射分析是利用X射线在晶体物质中的衍射效应进行物质结构分析的技术。X射线衍射方法具有测量精度高、快捷、无污染、不损伤样品、信息完整性等优点。

因研究区泥岩外观质地较单一,实际测试时,在4个钻孔分别选取4组泥岩样品制备测试所需的样品,制备流程如图4。测试所需的样品为粒度小于300目的粉末样品。样品制备时,取20g有代表性的岩样放入刚玉研钵盆内研钵,直至所有粉末样品能通过300目的筛子。实际测试时,随机选取约2g样品进行测试。

本次测试在中国铁路设计集团有限公司工程实验室完成,所使用的仪器为:Rigaku D/max 2500型X射线衍射仪。X射线发生器:功率18kW(60kV, 450mA),Cu旋转阳极靶。扫描方式:θ-2θ测角仪。X射线发生器稳定度:<0.01%。测角仪精度(2θ):

0.002°。

2.3 试验结果分析

膨胀土遇水膨胀,失水收缩,与其含有较多强亲水性黏土矿物有关,如蒙脱石、伊利石等。当土体浸水时,土颗粒表面的结合水膜增厚,使颗粒间距拉大,从而引起主体膨胀;当主体失水时,结合水膜减薄,颗粒间距缩小,从而引起土体缩小。随着土体含水量的增减,膨胀力也产生相应的变化。由于土中含水量的变化与气候有关,因此土的膨胀变形是重复进行的。这就使得膨胀土上的建筑物开裂破坏。因此,查明黏土矿物的含量至关重要。

4组泥岩样品(表1)的XRD分析结果表明,白垩系胶东泥岩中矿物成分主要为黏土矿物,其次为方解石和石英。其中黏土矿物含量占优,在11.9%~54%之间,平均为36.875%;方解石含量为13.6%~48.7%,平均为23.7%;石英含量为18.5%~32.4%,平均22.85%。其它主要碎屑矿物主要有方解石、钠长石、钾长石、赤铁矿,其中样品3含有少量白云石。这说明泥岩的物质组成差异性很大,即使是在

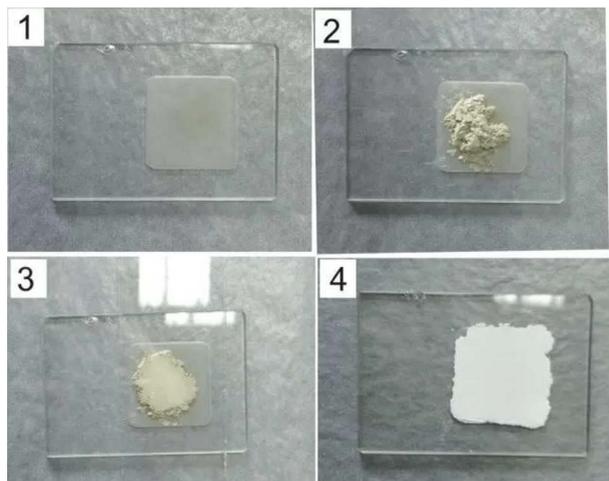


图4 X射线衍射分析正压法样品制备

Fig.4 X-ray diffraction analysis of sample preparation using positive pressure method

同一场地,其物质组成仍然相差较大,同时这也是泥岩物理力学性质离散性大的内因(图5~8)。各样品

所含矿物种类及含量见表1和图9。

2.4 蒙脱石含量的测定

第三纪和第四纪以来的各种类型的膨胀性黏土中均含有较高含量的蒙脱石,铁路行业也将蒙脱石含量指标作为判断膨胀土膨胀潜势分级的重要依据,因此本次针对胶东半岛对不同风化程度泥岩的蒙脱石含量开展了测试,对青岛胶东国际机场轨道交通结建工程 M8 线机场站(不含)至胶东镇站(不含)区间详勘 13 孔钻孔进行了取样,其中全-强风化泥岩 82 组,中风化泥岩 43 组,依据《铁路工程土工试验规程》(TB10102-2010)中相关要求对蒙脱石含量进行试验,本次试验是根据蒙脱石定量吸附亚甲蓝的特性,定量加入过量亚甲蓝,然后以氯化亚锡(SnCl_2)返滴定过量亚甲蓝来计算土中蒙脱石含量。

经过试验测定,全-强风化泥岩蒙脱石含量为 9.81%~87.33%,标准值为 27.85%;中风化泥岩蒙脱

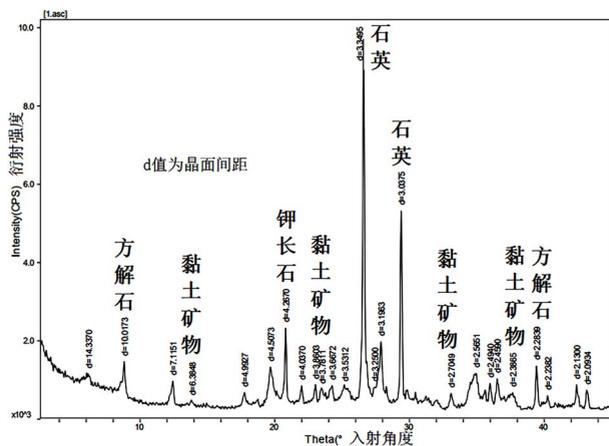


图5 样品1的X-射线衍射能谱图

Fig.5 X-ray diffraction energy spectrum of sample 1

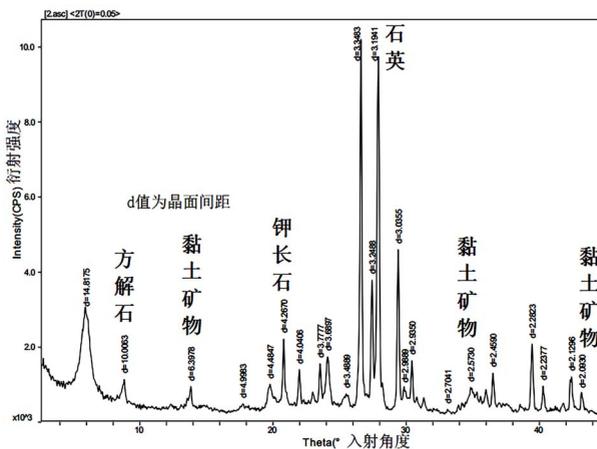


图6 样品2的X-射线衍射能谱图

Fig.6 X-ray diffraction energy spectrum of sample 2

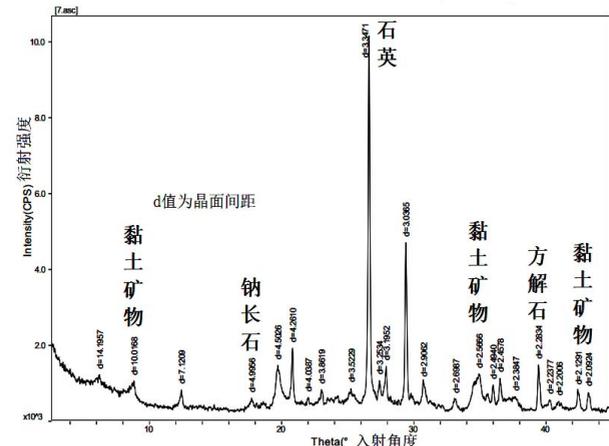


图7 样品3的X-射线衍射能谱图

Fig.7 X-ray diffraction energy spectrum of sample 3

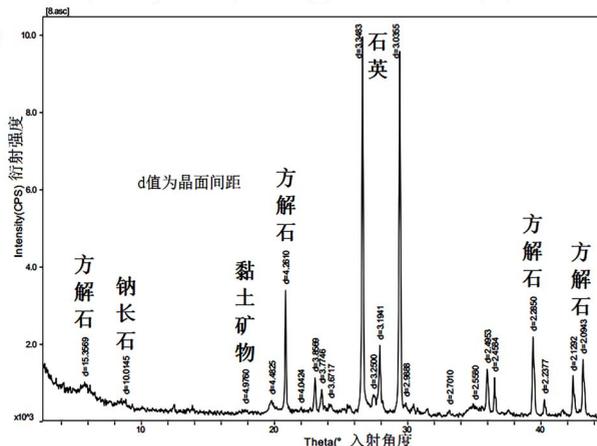


图8 样品4的X-射线衍射能谱图

Fig.8 X-ray diffraction energy spectrum of sample 4

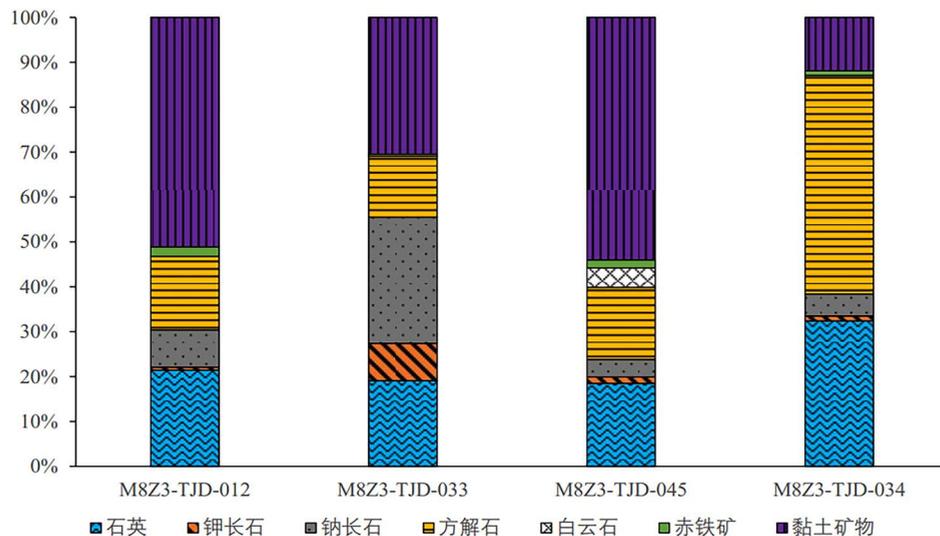


图9 泥岩样品所含矿物的X-射线衍射测试结果

Fig.9 X-ray diffraction test results of minerals contained in mudstone samples

石含量为 3.87% ~ 32.22%, 标准值为 15.11%。可以看出中风化泥岩的蒙脱石含量要低于全-强风化泥岩, 这也说明随着风化程度的加深, 部分矿物发生化学成分演变, 蒙脱石含量会逐渐增大。

3 工程破坏特性

由于泥岩具有吸水软化和失水崩解等工程特性, 如不能做出正确的评价, 会带来预料不到的危害, 如施工出现反复、工期延误、不能正常运营、被迫追加投资等, 从而造成巨大的经济损失, 因此查明胶东地区白垩系泥岩地层的崩解性和膨胀性是技术难点之一。

3.1 崩解机制

胶东白垩系泥岩崩解(图3)机理总体上可分为两类: 矿物组成中含有蒙脱石的, 崩解主要由岩体遇水时内部差异膨胀引起; 矿物组成中不含蒙脱石的, 崩解主要由岩体遇水时内部孔裂隙界面受水的楔裂压力作用, 孔裂隙扩容引起。基于X射线衍射分析结果, 对胶东白垩系泥岩的矿物组成进行了研究, 该地区泥岩中蒙脱石等黏土矿物占比 11.9% ~ 54.0%, 因此, 胶东白垩系泥岩的崩解主要由岩体遇水时内部的差异膨胀引起。

本次针对胶东白垩系泥岩进行了崩解试验研究分析, 发现该泥岩崩解性极强, 其中含水率是影响其崩解特性的重要因素之一, 完全干燥的泥岩崩解速率最快, 而天然含水率的泥岩崩解速率最慢, 泥岩崩解速率随含水率的增加而减小。泥岩崩解完全后所

得颗粒分布很均匀, 主要分布在 0.25 ~ 0.075 mm 区间, 其次为 0.5 ~ 0.25 mm 区间, 以细微颗粒为主, 级配不良。胶东白垩系泥岩崩解后物理力学性质出现显著劣化, 随着干湿循环崩解次数的增加, 其耐崩解性指数呈幂函数衰减规律; 但拟合参数离散性大, 与泥岩矿物成分、节理裂隙密切相关。

3.2 膨胀性试验分析

为研究胶东白垩系泥岩的膨胀特性, 开展了大量的膨胀性试验。鉴于泥岩易崩解, 全-强风化泥岩制样困难、一般呈土状等特点, 将全-强风化泥岩研磨, 过 0.5 mm 筛, 去除粗颗粒后按照膨胀土的试验方法进行试验; 中风化泥岩采用两种测试方法, 即: ① 研磨成土状后按照膨胀土的试验方法进行测试; ② 尝试测定饱和吸水率、膨胀力、膨胀率(自由膨胀率)进行膨胀势分析。对青岛胶东国际机场轨道交通结建工程 M8 线机场站(不含)至胶东镇站(不含)区间详勘 45 孔钻孔进行全-强风化泥岩以及中风化泥岩取样化验分析结果见表 2 和表 3。

以《铁路工程特殊岩土勘察规程》(TB10038-2012, J1408-2012)膨胀土和膨胀岩的判别标准(表 4 和表 5)、膨胀岩的膨胀势分级标准(表 6)及《中国工程地质世纪成就》中以干燥岩块的饱和系数率 10% 作为膨胀岩和非膨胀岩的分界指标等为依据, 对胶东白垩系泥岩进行膨胀特性分析。

膨胀土的膨胀势判别结果: ① 按平均值指标: 自由膨胀率为 29.96(非), 蒙脱石含量为 27.42(中), 阳离子交换量为 257.85(弱), 判定为弱膨胀土; ② 按

表2 全-强风化泥岩膨胀性试验统计

Table 2 Statistics of swelling test for completely strongly weathered mudstones

岩性、 风化程度	统计 项目	天然含水率 /%	天然饱和吸水 率/%	自由膨胀率 Fs /%	蒙脱石含量M /%	阳离子交换量CEC(NH ₄ ⁺) /(mmol/kg)	膨胀力Pp /(kPa)
全-强风化 泥岩	样本个数	17	22	69	82	82	4
	最大值	21.98	34.88	60.00	87.33	753.01	46.20
	最小值	5.54	8.93	11.00	9.81	110.14	11.00
	标准差	5.33	8.34	10.21	12.02	111.89	17.68
	变异系数	0.35	0.39	0.34	0.44	0.43	0.65
	中大平均值	18.67	28.24	44.98	57.38	505.43	36.60
	中小平均值	10.45	15.27	20.48	18.62	183.99	19.00
	平均值	15.35	21.60	29.96	27.42	257.85	27.00
标准值	13.06	18.49	27.85	25.15	236.71	6.77	

表3 中风化泥岩膨胀性试验统计

Table 3 Statistics of swelling test for weathered mudstones

岩性、风 化程度	统计项目	修正后抗压 强度/MPa	天然密度 pg/cm ³	天然含 水率/%	干燥饱和吸 水率ω /%	膨胀力Pp /(kPa)	侧向约束膨 胀率Fs /%	蒙脱石含 量M /%	自由膨胀 率Fs /%	阳离子交换量CEC (NH ₄ ⁺) / (mmol/kg)
中风化 泥岩	样本个数	10	12	31	29	20	15	39	39	39
	最大值	8.07	2.48	14.93	23.92	185.00	5.58	32.22	50.00	381.15
	最小值	0.22	2.12	2.61	7.00	20.00	0.62	3.87	9.00	36.72
	中小平均值	2.04	2.24	5.03	11.38	56.48	1.34	10.50	16.99	103.27
	标准差	2.42	0.11	2.33	4.72	51.66	1.78	7.32	8.98	76.03
	变异系数	0.63	0.05	0.31	0.30	0.56	0.86	0.43	0.36	0.45
	中大平均值	5.96	2.42	11.19	19.84	138.98	3.82	24.68	37.49	275.48
	平均值	3.85	2.36	7.45	15.75	92.96	2.06	17.13	24.97	169.82
标准值	2.43	2.30	6.73	14.23	72.67	1.25	15.11	22.50	148.84	

标准值指标:自由膨胀率为 27.85(非),蒙脱石含量为 25.15(中),阳离子交换量为 236.71(弱),判定为弱膨胀土;③按中大平均值指标:自由膨胀率为 44.98(弱),蒙脱石含量为 57.38(强),阳离子交换量为 505.43(强),判定为强膨胀土;④按中小平均值指标:自由膨胀率为 20.48(非),蒙脱石含量为 18.62(中),

阳离子交换量为 183.99(弱),判定为弱膨胀土。

本次判定以行业经验兼顾预留工程安全系数,综合判定全-强风化胶东白垩系泥岩为弱膨胀土。

膨胀岩的判别结果:根据《铁路工程特殊岩土勘察规程》对中风化泥岩的自由膨胀率、膨胀力和干燥岩块的饱和吸水率三项指标进行判别分别为:①按标

表4 膨胀土判别标准

Table 4 Identification criteria for expansive soil

分级指标	弱膨胀土	中等膨胀土	强膨胀土
自由膨胀率 FS /%	40≤FS < 60(65)	(65) 60≤FS < 90	FS≥90
蒙脱石含量 M /%	7≤M < 17(14)	(14) 17≤M < 27(22)	M≥27(22)
阳离子交换量 CEC(NH ₄ ⁺) / (mmol/kg)	170≤CEC(NH ₄ ⁺) < 260	260≤CEC(NH ₄ ⁺) < 360(340)	CEC(NH ₄ ⁺)≥360(340)

表5 膨胀岩判别标准

Table 5 Identification criteria for expansive rocks

试验项目	判定指标
不易崩解的岩石	膨胀率 VH /%
易崩解的岩石	自由膨胀率 FS /%
	膨胀力 Pp /kPa
	干燥岩块的饱和吸水率 Wsa /%
	VH≥3
	FS≥30
	PP≥100
	Wsa≥10

表6 膨胀岩膨胀潜势分级表

Table 6 Classification of expansion potential of expansive rocks

分级指标界限	岩石的膨胀潜势分级		
	弱膨胀	中等膨胀	强膨胀
干燥后饱和吸水率	10≤Wsa < 30	30≤Wsa < 50	Wsa≥50

准值:自由膨胀率为 22.5(非),膨胀力为 72.67 kPa(非),干燥饱和吸水率为 14.23(膨胀岩);②按中大平均值:自由膨胀率为 37.49(膨胀岩),膨胀力为 138.98 kPa(膨胀岩),干燥饱和吸水率为 19.84(膨胀岩)。

本次判定以行业经验兼顾预留工程安全系数,综合判定胶东白垩系泥岩为膨胀岩。

膨胀岩的膨胀潜势判别结果:①按标准值:干燥饱和吸水率为 14.23(弱膨胀岩);②按中大平均值:干燥饱和吸水率为 19.84(弱膨胀岩)。

因此,综合判定胶东白垩系泥岩膨胀潜势分级为弱膨胀岩。

4 工程应对措施

根据矿物成分分析及工程破坏特性研究可知,胶东白垩系泥岩具有崩解性极强以及弱膨胀性等特点。同时经过现场调查以及室内矿物分析、工程破坏试验等研究,表明对本区白垩系王氏组泥岩工程特性影响最大的矿物是蒙脱石,而对蒙脱石矿物影响最大因素为水。因此在该类泥岩地区建设桥梁、隧道、路基等工程时,应根据工程类型采取针对性的工程处置措施。第一考虑泥岩的膨胀性,第二在施工和运营过程中做好截排水措施。同时,在不同类型的工程建设过程中的重点应对措施也应有相应区别。

4.1 桥梁工程

(1)桩基持力层宜设在微风化层中,桩型宜采用端承摩擦桩;

(2)承台底埋置深度不小于 4.0 m(大气影响深度);并且承台底设置碎石垫层,用以缓冲微量的胀缩量;

(3)地面以下埋深 1~5 m 范围内为膨胀岩土,地层可能存在胀缩,该段范围内不计正负摩阻力;

(4)桩侧膨胀岩土范围内侧摩阻力按正常取值降一档折减;

(5)鉴于泥岩在浸水后强度显著降低,在泥岩地层桥址处做好防排水设计,防止地表水下渗浸润岩土体;同时在膨胀岩土地区钻孔桩成孔时,宜采用干式钻、挖孔桩,严禁向孔内注水,并及时灌注混凝土。

4.2 隧道工程

(1)泥岩为膨胀岩地段,衬砌厚度设计时荷载应考虑膨胀力的影响,按照不利工况进行设计;

(2)对基坑影响范围内地表以防水混凝土硬化,

在影响范围外设排水沟;

(3)及时施作桩侧网喷混凝土(采用防水混凝土),及时封闭桩间土,做好基坑排水;

(4)基底预留 50 cm 岩体后挖,减少风化和浸水,及时采用防水混凝土封闭坑底;

(5)车站段落在坑深范围内对坑外 2 m 范围内岩体进行注浆止水;区间段落在施工缝处设置纵向分区分隔止水处理带;紧邻结构顶部(拱部)采用至少 1 m 厚三七灰土回填与上述止水带形成封闭的隔水带,尽量减少膨胀岩含水率变化。具体相关工程措施如图 10-12 所示;

(6)鉴于本工程基坑基底大部分位于中风化泥岩中,该岩层为膨胀岩,遇水易软化,失水易崩解,施工过程中稳定性差。为减少基底膨胀岩土的暴露时间,明挖段基坑抗浮桩在地表施做。

4.3 路基工程

(1)膨胀岩地段路基应以浅挖低填通过,应避免高路堤和深长路堑;

(2)路基面每侧加宽 1.0 m,路堑采用“路堤式路堑”的型式;路堤边坡坡率为 1/1.50~1/1.75,路堑边坡坡率为 1/1.50~1/2.00;

(3)基床底层顶部铺设 0.15 m 厚中粗砂并夹铺一层两布一膜不透水土工布,加强防排水;在基床底层设置一层厚 0.5 m 的三七灰土,起到阻隔水作用,尽量减少下部膨胀岩土含水率变化;

(4)路堤边坡和路堑边坡采用带截水槽的 C25 混凝土拱型骨架护坡防护;在路堑段设置 C35 钢筋混凝土矩形侧沟,路堑侧沟外侧设 2~5 m 宽平台,厚 0.3 m,平台采用 C25 混凝土浇筑;

(5)对于深厚全风化泥岩地层段落,路基基底采用钻孔灌注桩加固。

综上所述,通过采取上述有针对性的处理措施,目前胶东半岛上新建济青高铁和青岛地铁 8 号线运行良好,上述处理措施可供附近地区桥梁工程建设参考。

5 结论

胶东白垩系泥岩多呈棕红色、棕褐色和紫灰色,泥质结构,层状构造,矿物成分以黏土矿物为主,富含蒙脱石,局部砂质含量较高,属于软岩-极软岩,遇水易崩解、软化,工程性质较差。本文在地质调查基础上,结合室内试验和理论分析,基本查明了胶东白

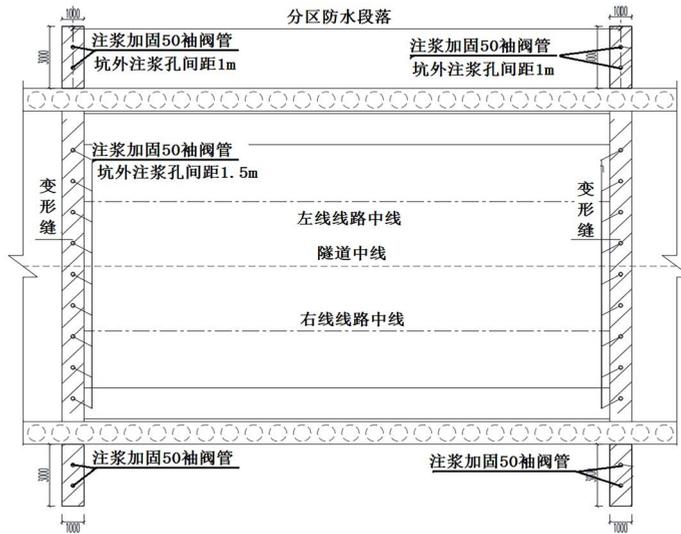


图 10 膨胀岩纵向分区分隔处理措施平面示意图

Fig.10 Schematic plan of longitudinal partition treatment measures for expansive rock

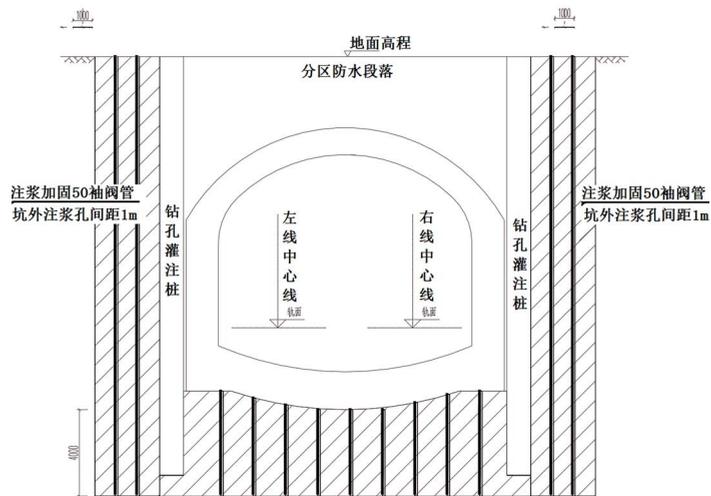


图 11 膨胀岩纵向分区分隔处理措施横断面示意图

Fig.11 Cross section schematic diagram of longitudinal partition treatment measures for expansive rock

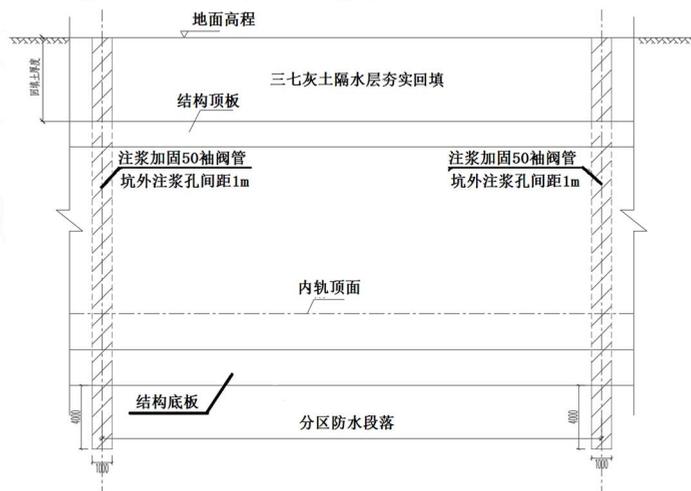


图 12 隧道周边纵向分区分隔处理措施图

Fig.12 Treatment measures for longitudinal zoning and separation around the tunnel

垩系泥岩的矿物成分和工程破坏特性,主要成果总结如下:

(1)白垩系胶东泥岩中矿物成分主要为黏土矿物,其次为方解石和石英。其中黏土矿物含量占优,在 11.9%~54% 之间,平均为 36.875%。

(2)膨胀土遇水膨胀,失水收缩,与其含有较多强亲水性黏土矿物有关,第三纪和第四纪以来的各种类型的膨胀性黏土中均含有较高含量的蒙脱石,铁路行业也将蒙脱石含量指标作为判断膨胀土膨胀潜势分级的重要依据,因此本次针对胶东半岛对不同风化程度泥岩的蒙脱石含量开展了测定并发现:全-强风化泥岩蒙脱石含量为 9.81%~87.33%,标准值为 27.85%;中风化泥岩蒙脱石含量为 3.87%~32.22%,标准值为 15.11%。可以看出中风化泥岩的蒙脱石含量要低于全-强风化泥岩,这也说明随着风化程度的加深,部分矿物发生化学成分演变,蒙脱石含量会逐渐增大。

(3)胶东白垩系泥岩崩解性极强,含水率是重要的因素之一。同时膨胀性实验分析表明全-强风化胶东白垩系泥岩为弱膨胀土;中风化胶东白垩系泥岩为弱膨胀岩,膨胀力为 138.98kPa,侧向约束膨胀率为 3.82%,干燥饱和吸水率为 19.84%。膨胀性指标参数之间的相关性研究一直是探求膨胀岩膨胀机理的一个重要内容,在后续工程建设中还需要积累试验样本数量,研究膨胀性指标参数的内在关联。

(4)通过既有工程建设应对措施,在胶东白垩系泥岩地区进行工程建设,最主要的就是采取有效措施进行隔排水,避免基底受水浸泡软化、膨胀,减少岩层在空气中的暴露时间;同时根据不同工点类型,考虑膨胀性等不利影响,按照不利工况进行结构设计。目前根据已经运行的工程反馈运行良好,对于相似条件下的同类工程建设具有重要借鉴意义。

参考文献:

[1]《工程地质手册》编委会. 工程地质手册[M]. 第 5 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018.
 [2]李志鹏. 胶东白垩系泥岩崩解特性试验研究[J]. 铁路工程技术与经济, 2020, 35(04): 50-54.
 [3]左文贵. 湖南白垩系、第三系红层工程特性研究[D]. 中南大学, 2006.
 [4]中华人民共和国国家标准. 城市轨道交通岩土工程勘察规范(GB50307-2012) [S].
 [5]朱珍德, 邢福东, 刘汉龙, 等. 红砂岩膨胀力学特性试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(04): 596-600.

[6]刘长武, 陆士良. 泥岩遇水崩解软化机理的研究[J]. 岩土力学, 2000, 21(1):28-31.
 [7]樊金平. 胶东白垩系泥岩干湿循环抗剪强度试验研究[J]. 铁路工程技术与经济, 2020, 35(06):23-28.
 [8]中华人民共和国国家标准. 建筑地基基础设计规范(GB 50007-2011) [S].
 [9]中华人民共和国国家标准. 岩土工程勘察规范(GB 50021-2001) (2009 年版) [S].
 [10]中华人民共和国国家标准. 核电厂岩土工程勘察规范(GB 51041-2014) [S].
 [11]陈树旺, 郑月娟, 张健, 等. 大兴安岭南二叠系—三叠系界线及沉积环境演化[J]. 中国地质, 2020, 47(03):821-838.
 [12]阴江宁, 丁建华, 陈炳翰, 等. 中国高岭土矿成矿地质特征与资源潜力评价[J]. 中国地质, 2022, 49(01): 121-134.
 [13]李俊建, 彭翼, 张彤, 等. 华北地区成矿单元划分[J]. 华北地质, 2021, 44(03):04-24.
 [14]王云龙, 郭海朋, 臧西胜, 等. 沧州典型地面沉降区土体压缩与固结特征研究[J]. 华北地质, 2020, 34(03):246-278.
 [15]李志丹, 谢瑜, 李俊建, 等. 华北地区锂资源特征及成矿规律概要[J]. 华北地质, 2021, 44(03): 41-48.
 [16]柴肇云, 张亚涛, 张学尧. 泥岩耐崩解性与矿物组成相关性的试验研究[J]. 煤炭学报, 2015, 40(5):1188-1193.
 [17]梁冰, 李若尘, 姜利国, 等. 沉积岩矿物组成对其耐崩解性影响的试验研究[J]. 煤炭科学技术, 2018, 46(5):27-32.
 [18]许天祥, 李元松, 肖尊群, 等. 某高速公路路基红色泥岩微观结构试验研究[J]. 路基工程, 2017, (6):85-89.
 [19]杨建林, 王来贵, 李喜林, 等. 遇水-风干循环作用下泥岩断裂的微观机制研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2014, 33(2):606-612.
 [20]杨建林, 王来贵, 李喜林, 等. 水作用下泥岩崩解过程与微观机理研究[J]. 水资源与水工程学报, 2014, 25(1): 67-70.
 [21]王浪, 邓辉, 邓通海, 等. 泥岩耐崩解性和颗粒粒径相关性的试验研究[J]. 长江科学院院报, 2017, 34(8):120-124.
 [22]余宏明, 胡艳欣, 张纯根. 三峡库区巴东地区紫红色泥岩的崩解特性研究[J]. 地质科技情报, 2002, 21(4):77-80.
 [23]陈爽. 三峡水库运行期消落带强风化泥岩崩解特性研究[D]. 合肥工业大学, 2017.
 [24]胡瑞林, 殷跃平. 三峡库区紫红色泥岩的崩解特性研究[J]. 工程地质学报, 2004, (12):61-64.
 [25]王亚坤, 张文慧, 陈涛, 等. 干湿循环效应对风化泥岩性质影响的试验研究[J]. 公路工程, 2013, 38(2):94-98.
 [26]申培武, 唐辉明, 汪丁建, 等. 巴东组紫红色泥岩干湿循环崩解特性试验研究[J]. 岩土力学, 2017, 38(7):1990-1998.
 [27]邱珍锋, 杨洋, 伍应华, 等. 弱风化泥岩崩解特性试验研究[J]. 科学技术与工程, 2014, 14(12):266-269.

- [28] 曲永新,徐晓岚,时梦熊,等.泥质岩的工程分类和膨胀势的快速预测[J].水文地质工程地质,1988,(05):14-16,13.
- [29] 王小军.膨胀岩的判别与分类和隧道工程[J].水文地质工程地质,1995,(02):44-48.
- [30] 何山,朱珍德,王思敬.膨胀岩的判别与分类方法探讨[J].水利水电科技进展,2006,26(4):62-64.
- [31] 徐颖,何孔翔,张凤翔.膨胀岩判别方法的研究[J].辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2002,21(4):446-449.
- [32] 霍涛.易崩解岩石膨胀性试验研究[J].铁道建筑技术,2020,(03):5-9.
- [33] 朱训国,杨庆.膨胀岩的判别与分类标准[J].岩土力学,2009,30(s2):174-177.
- [34] 颜文,周丰峻,郑明新,等.长衡段软岩水理特性研究[J].华东交通大学学报,2005,22(2):15-17.
- [35] 梅海清.风化泥岩开挖料填筑公路路基的试验研究[D].南京:河海大学,2011.
- [36] 王浪,邓辉,邓通海,等.软岩耐崩解和室内浸水崩解试验方法差异性分析[J].科学技术与工程,2017,17(7):106-111.
- [37] 曾志雄,孔令伟,田海,等.膨胀岩崩解特性的干湿循环效应与粒度熵表征[J].岩土力学,2017,38(07):1983-1989.
- [38] 姚远.利用CT扫描研究干湿循环泥岩软化过程[J].工程勘察,2014,42(06):12-15.
- [39] 何叶.干湿循环泥岩强度折减规律与损伤分析[J].湖南城市学院学报(自然科学版),2017,26(03):25-28.
- [40] 朱效嘉.软岩的水理性质[J].矿业科学技术,1996(3/4):46-50.
- [41] 卢海峰.巴东组软岩边坡岩体工程特性及破坏机理研究[D].武汉:中国科学院武汉岩土力学研究所,2010.
- [42] 程强,周德培,封志军.典型红层软岩软弱夹层剪切蠕变性质研究[J].岩石力学与工程学报,2009,28(增刊1):3176-3180.

Research on mineral composition, engineering failure characteristics, and response measures of Cretaceous mudstones in Jiaodong

LI Peng¹, GAO Xuelian²

(1. China Railway Design Group Co., Ltd., Tianjin 300142, China;

2. Tianjin Petroleum Vocational and Technical College, Tianjin 301607, China)

Abstract: The mudstone of the Upper Cretaceous Wangshi Group, widely distributed in the Jiaodong area of China, belongs to extremely soft rock and generally has swelling characteristics. After water absorption and loss in this formation, there is a phenomenon of swelling and shrinkage, which poses great safety hazards to construction projects. This article conducts mineral composition analysis, disintegration mechanism analysis, and expansion characteristic test index research on the mudstone, and basically grasps the basic characteristics of engineering damage in the formation. Through various test indicators, it proposes engineering response measures for the formation, which can avoid or reduce the safety hazards caused by the formation to engineering construction and operation. The research results of this article provide reference significance for the construction and operation of similar projects in the region.

Key words: Jiaodong; Cretaceous; mudstone; mineral composition; engineering failure characteristics