

防渗膨润土的研究及其在工程中的应用

鞠建英

TV443.3

⑦
27-29.63

(北京市市政工程设计研究总院、北京 100045)

摘要:简介国内外膨润土资源情况和工程应用情况,着重介绍膨润土的防水机理和防渗膨润土的具体要求,在简要介绍国内外钠化处理方法后指出,最经济、简捷的钠化方法是超临界处理法,文末介绍有机膨润土的加工应用情况及膨润土的开发应用前景。

关键词:膨润土;防渗;钠化;超临界;胶质价;吸蓝量;膨胀

中图分类号: TU521.3

文献标识码: A

文章编号: 1006-7647(2000)05-0027-03

膨润土是应用范围很广和经济价值较高的粘土矿物,国外有人称其为万能粘土矿物,它的生产利用仅有百年,世界上最著名的膨润土地点是美国的南达科他州和怀俄明州,格鲁吉亚等。我国的膨润土资源十分丰富,已探明的储量居世界第一位,具有各种自然类型的钙基、钠基、镁基、氢(铝)基膨润土矿,分布在全国26个省、自治区。目前,国内以生产钙基膨润土为主,县以上企业有40余家,乡镇企业有几百家,总产量约100万t,累计开采量尚不到探明储量的0.1%。

1 膨润土在工程中的应用

a. 直接用膨润土防水。美国在建造钢筋混凝土油库时,往往在浇筑混凝土前,先在地基上铺撒一层干膨润土粉(约1万m²铺1t),既防止库内油外渗,又防止地下水入侵。有些国家在水库的上游水面上撒干膨润土粉,膨润土顺流而下,土在水中水化,呈絮状下沉至库底,充满库底裂缝,成为纯膨润土铺砌,达到不透水的目的。

b. 把膨润土做成膨润土防水膏、条、板(在带有波纹凹槽的,能在土中被递降分解的牛皮纸瓦楞板中,填满经过精制的钠基膨润土干粉5~8kg/m²)、毡(两层或三层无纺或有纱布中间夹5~10mm厚的钠基膨润土,且用每间隔5~10mm一针的针刺法将三者或五者形成一体)、防水涂料、膨胀剂等。

美国在60年代初开始研究膨润土的防水作用,70年代试制成防水板,在地下工程中大量应用并同时向世界许多国家输出。加拿大多伦多地铁全部用膨润土板防水,取得了永久的防水效果,因而使日常

管理费用大大降低。美国加州旧金山海湾区快速客车站、石油库,衣阿华州的电缆沟(管),佐治亚州的亚特兰大空港等均用膨润土板防水。美国近20年所建的地铁也都主要用膨润土防水,其底板、立墙、顶部均包满了膨润土板,经济效益显著。香港和东南亚地区应用美国的膨润土板防水的地下室、地铁等也很多。我国近10年所建大厦的地下室也已有几十个用美国的膨润土板防水。

日本在80年代将膨润土和防水膜(如橡胶、塑料等)重合在一起,形成双重或三重防水材料。美国在90年代又开发出一层膨润土一层高密聚乙烯的高效防水材料。

c. 我国应用膨润土作防水材料历史悠久。长沙马王堆汉墓中的女尸能保存得那么好,除防腐材料起了作用外,墓室周围用粘粒含量50%~55%的非膨胀性粘土填实防水密闭起来的作用更大。如用膨润土效果会更好。60年代,上海基础公司在南昌七里街电厂江心取水泵房,先抛砂石筑岛,再下沉沉箱,在沉箱周围,边下沉边灌很稠的膨润土泥浆——触变泥浆,泥浆在箱壁和砂石间形成一层不透水的胶质防水、润滑层,沉箱下沉顺利,无泥沙涌入。以后在上海越江隧道出、入口及各地的大型沉井、沉箱工程中均用膨润土泥浆减阻下沉。80年代又开始在长距离顶管中用膨润土泥浆减阻顶进。

d. 利用膨润土泥浆的固壁作用建造地下连续墙始于50年代的意大利米兰,并很快在世界各国(特别是工业发达国家)得到飞速发展,创造了各种施工方法。70年代又开始把锚杆和地下连续墙结合,使建造深度越来越大,有的已达百米。

e. 我国近几年建垃圾填埋场时,德国专家建议用膨润土与当地粉细砂土搅拌压实 50 cm 厚,分两层压实,膨润土含量 3% ~ 5% (重量比)。膨润土含量太少,且膨润土的质量差,效果不好。实际上应用 10% 的防渗膨润土,才能达到防渗要求。我国广东佛山市南海狮中垃圾卫生填埋场 1994 年完工,已运行 4 年多,无渗漏。其防渗衬垫是采用当地产的膨润土,经碾压压实成厚 15 cm,渗透率 $K < 10^{-7}$ cm/s。在膨润土上再铺 30 cm 厚粘土,以防垃圾直接与膨润土接触致使膨润土失效,铺膨润土前将原状土夯实碾压至压实度大于 95%。

此外,也可利用膨润土修补渗漏、加固软弱地基、净化处理污水以及用于沙漠化处理等。

2 膨润土的防渗机理

膨润土的基本性能取决于蒙脱石的矿物特性。一般膨润土具有良好的粘结性、膨胀性、胶体分散性、悬浮性、吸附性、催化活性、触变性和阳离子交换性能等。

a. 膨润土的膨胀力特别强,其原因是膨润土具有物理化学性强,结合水的能力强等特性,通常在与水接触 24 h 开始水化,膨胀 4 ~ 5 倍,48 h 水化完成,变成原来颗粒体积的 10 ~ 15 倍甚至 30 倍的凝胶体。这种凝胶体像一堵防水墙,能防止其它水分渗入,其渗透率可减至 10^{-9} cm/s,几近滴水不漏。国内外的膨润土化学组成大致如表 1 所列。

b. 膨润土是粒径小于 $2\mu\text{m}$ 的无机质,主要成分是由火山玻璃触变或沉积形成的微晶高岭土,化学成分是含水硅酸盐 $(\text{Mg} \cdot \text{Na})\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot (\text{AlSiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O})$,系 Si—Al—Si 结构体系,是由云母状薄片层堆垒而成的单个颗粒。这些薄片层的上、下表面带负电,因而膨润土的构成单位是互相排斥的。膨润土在水化时,水分子沿着 Si—Al—Si 结构单位的硅层表面吸附起来,使相邻接的结构单位层之间的距离加大。钠基膨润土的结构单位层间能吸附大量的水,层

间距离大,钠离子连接各层薄片(图 1)。

c. 日本厚生省水道环境部 1986 年在《废弃物最终处理场标准说明》中,提到膨润土在钙、氯、钾电解质溶液中不膨胀,即在有上述电解溶液存在的环境中,不能用膨润土作防水材料。因为膨润土先吸附氯离子,产生易燃有毒物,恶化环境。

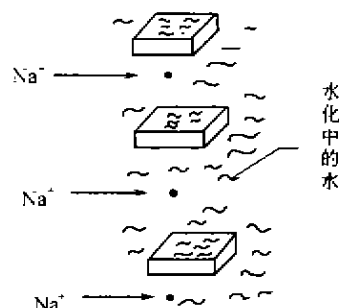


图 1 钠离子连接各层单质薄片

3 对防渗膨润土的要求

只有渗透率 $K \leq 10^{-7}$ cm/s,且能抗百年老化的膨润土,才能称为防渗膨润土。

对于防渗膨润土的各项指标,各国的提法很不一样,也很不规范。我国因开发研究少,也没有成文的规定,只是笼统要求渗透率 $K \leq 10^{-7}$ cm/s。

美国防渗膨润土的 pH 值为中性,即 pH 值为 7。试验证明,凡 pH 值大于 8 的膨润土,其抗渗能力递减得很快,有的半年就失效。

德国在其所援建的几个垃圾填埋场中,要求作防渗衬垫的膨润土达到以下要求:①吸蓝量大于或等于 380 mg/g;②体膨胀大于或等于 26 倍;③筛余物小于或等于 25% (0.063 孔径);④水分小于或等于 13%;⑤吸水率大于或等于 580;⑥ Fe_2O_3 及 FeO 含量小于或等于 10%;⑦ CaO 及 MgO 含量小于或等于 10%。实践证明,天然状态的膨润土很难达到吸蓝量大于或等于 380 mg/g 的要求,必须进行人工钠化。多加钠的结果,虽然能达到吸蓝量大于或等于 380 mg/g 的要求,但 pH 值肯定大于 8,达不到永久防渗要求。

表 1 国内外膨润土化学组成

产地	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	TiO_2	H_2O^+	H_2O^-	烧失量
法国蒙摩利龙	51.14	19.76	0.83		1.62	3.22	0.11	0.04		14.81		
美国怀俄明州	55.44	20.14	3.67	0.3	0.50	2.49	0.60	2.75	0.10		14.7	
中国辽宁锦西	47.97	21.43	3.86	0.4	1.79	2.07	1.00	0.30		5.14	16.34	
中国辽宁黑山	67.60	14.05	1.90		4.36	4.21	0.43	0.57				7.23
中国吉林九台	70.93	14.34	1.38		1.66	2.41	0.28	0.34				8.30
中国河北宣化	62.73	13.15	0.88		6.57	2.35	3.47					11.32
中国浙江余杭	69.23	17.67	1.16		1.21	1.97	0.69	0.11				7.01
中国浙江临安	71.29	14.17	1.75		1.62	2.22	1.78	1.92				4.24
中国江苏溧阳	54.32	14.59	1.29	0.07	1.94	5.32	0.10	0.04	0.12	6.30	15.46	
中国内蒙高庙子	71.47	15.28	1.33		0.61	3.95	0.40	1.96	0.03			5.33
中国新疆和丰	61.46	16.16	2.08	0.03	0.28	2.56	1.48	2.52	0.78			
中国广西三塘	45.20	25.13	7.05		4.21	1.51	5.85	3.20				

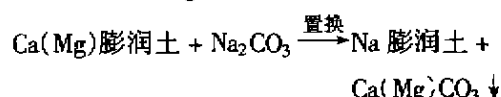
笔者通过对试验结果的分析认为:防渗膨润土的 pH 值不应超过 9;渗透率应小于 10^{-7} cm/s;通过百年加速老化试验,这三条缺一不可。80 年代常州生产的 BW 止水条及北京生产的膨润土板之所以用后出现问题,主要是膨润土没有达到防渗要求。

1998 年长江洪水期间,农民在堤上钻孔灌黄豆、大米防管涌,只能是临时措施,如改灌防渗膨润土,就可达到永久防渗目的。

4 膨润土的钠化处理方法

天然膨润土按化学成分可分为钠基和钙基两大类。在一般情况下,钠基膨润土较钙基膨润土的理化性能和工艺性质优越,主要表现在:吸水速度慢,吸水率与膨胀倍数大;阳离子交换量高;在水介质中分散性好,胶质价高;加热稳定性好等。所以钠基膨润土的使用价值高,能满足多种用途的要求。以前我国已探明的储量 90% 是钙基土,钠基土一般在矿山的较深层,尚需详细勘探。近年我国在新疆发现储量高达 50 亿 m^3 的大型膨润土矿,膨润土的品质优于美国。

天然钙基膨润土在很多方面满足不了多种用途的要求,但经过酸碱处理可以提高某些性能(如粘结性、膨胀性、悬浮性、抗剪性、抗压性等),成为人工(或改性)钠基膨润土,可与天然钠基膨润土一样能满足多种用途的要求。最早的酸碱处理方法由德国研究成功,以后被各国采用。钙基膨润土的酸碱处理工艺很简单,但是湿法,需一定设备、动力。外加剂(Na_2O , Na_2CO_3 , $NaHCO_3$, $NaOH$, $NaPO_4$ 等),可使膨润土改型,即用低价的 Na^+ 离子将膨润土中可置换的高价阳离子 Ca^{2+} , Mg^{2+} 置换出来。其反应机理为



一般钠化方法有悬液法、堆场钠化法(陈化法)和挤压法。

a. 悬液法。在配制膨土泥浆时向水中加入钙基土和纯碱长时间预水化,使更多的 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 被置换出来。

b. 堆场钠化法。意大利首先采用这种方法。在原矿堆场中,将 2%~4% 的 Na_2CO_3 粉撒在含水量大于 30% 的膨润土原矿中,翻动拌和,混匀碾压、老化 10 d,干燥粉碎成钠基膨润土。

c. 挤压法。德国的轮碾挤压法、日本的双螺旋挤压法、我国的阻流挤压法、对辊挤压法等,都属于挤压法,都是加钠加压,利用剪切应力,使聚结的颗粒分开,甚至推开晶层,增加钙蒙脱石的比表面积,加速 Na^+ 交换 Ca^{2+} 。在挤压过程中,一部分将机械

能转变为热能,使膨润土的温度升高,促进 Na^+ , Ca^{2+} 交换过程。挤压还可使蒙脱石晶体结构遭到破坏,产生断键,暴露出来的硅离子、铝离子、氧离子吸附水,有利于蒙脱石水化。断键同时增加了原土颗粒表面的负电荷,使钠化较为完全。外加 Na_2CO_3 的量必须大于 Ca^{2+} , Mg^{2+} 等的浓度,才能使钙基膨润土完全钠化,但 Na^+ 的浓度过大时,将增加滤失量和降低视粘度。李苏璋、周运臣^[1]研究开发出使用造成膨润土蒙脱石的物化性能——水体系统性能和化工技术路线的方法,使膨润土固体内发生快速离子交换反应,直接把天然钙基膨润土改型成钠基膨润土。

人工钠化处理的膨润土目前还没有统一的国家标准。表 2 为山东潍坊地方建立的质量标准。

表 2 人工改型钠基膨润土质量标准

项 目	指 标	项 目	指 标
表观粘度	21.5 mPa·s	塑性粘度	11.8 mPa·s
造浆率	18.0 m ³ /t	屈服值	19.5 × 4788 Pa
API 失水量	9.5 mL	静切力(10 s)	7.4 × 4788 Pa
动塑比	1.65	静切力(10 min)	27.4 × 4788 Pa

较经济、实用、可行的钙基膨润土改性处理方法是在使用时,根据矿物成分加入 2%~5% 的 Na_2CO_3 ,这在 60 年代初我国在沉井、沉箱减阻下沉及 70 年代的长距离顶管工程中已得到成功的应用。钻井、地下连续墙护壁泥浆用得更多,但不能作防渗用。

90 年代,我国的科技工作者找到了经济简捷的人工钠化方法——超临界处理法,膨润土在温度、压力达到化学平衡时,高层电位变低层电位,吸钠力最强。所以只要知道膨润土的超临界点,处理费用极低。据了解,美国和德国的防渗膨润土每吨约 2 万~3 万元。在我国如用超临界法进行处理,每吨只需千元或几百元。

5 有机膨润土的加工应用

有机膨润土是由有机离子或中性分子以共价键、离子键、氢键、偶极键以及范德华力、库仑力与蒙脱石结合成的蒙脱石有机复合物。其化学活性很低,既不溶解于有机溶液中,又不与有机体系产生反应,但在有机溶剂中却可以形成触变性凝胶体,且具有亲油疏水性能,有机膨润土抗稀酸和碱、防水性、稳定性好,能耐 150~175℃ 高温,这些可贵的性质,具有多方面巨大的应用开发潜力。

美国于 1949 年生产出有机膨润土,前苏联 60 年代开始应用,我国 70 年代中期才开始研制生产,但至今未能普及应用。目前世界有机膨润土年产量约 3 万~4 万 t,有数十个品种,我国年产不足千吨,仅几个品种。

(下转第 63 页)

耗材较多,而且挡墙高度由于自身特点而受严格限制;而加筋土挡墙加筋材料成水平埋置于土中,并与垂直的墙面板形成牢固的联结,墙体被破坏时,产生活动区与稳定区,活动区土的水平推力被稳定区加筋土之间的摩擦力所平衡,整个加筋体的内部稳定性就得到保证,这种既改变受力情况,又由水平加筋材料与填土形成自身稳定的复合体的结构特点,使得可以做成很高的挡墙。迄今为止,世界上最高的加筋土挡墙——四川省巫山集仙中路公路挡墙,墙高58~60m。

b. 工程造价。加筋土挡墙比传统的毛条石、混凝土支挡结构节省工程造价20%~65%,从而大大地降低总造价,经济效益显著。已建部分水工加筋土挡墙工程节约投资比例见表1。从表1中可以看出,挡墙越高,节约的工程造价越多(高达65%~70%),其技术经济效益更加显著。

表1 部分水工加筋土挡墙工程节约投资情况

工 程 名 称	高度 /m	长度 /m	墙面积 /m ²	节约投 资/%	建设时间
四川长寿县白沙湾 煤码头	18~26.5	90	1600	65.0	1983~1985
一般码头、防洪堤公路	12~22	1021	16000	43.8	1988~1990
重庆北碚环城(江边) 公路挡墙	6~22	900	13000	43.5	1993~1995
重庆嘉陵江滨江公路 (码头、防洪堤)	10~13	1500	16000	28.0	1995
重庆渔洞长江河岸整 治工程(码头、防洪堤)	19.5	3138	54000	41.6	1995~1996
重庆彭水县九曲河大 桥引道挡墙	16	180	2880	43.0	1995
重庆彭水县乌江西岸滨 江工程(码头、防洪堤)	15	990	10000	32.0	1995
四川江津市长江西岸整 治工程(码头、防洪堤)	12~16	2950	34000	28.0	1996~1997

c. 施工过程和施工质量。加筋土挡墙的施工过程是拼装、填土碾压过程,很适合于机械化施工,而且面板、拉筋带、连接件等构件,全部可以实现工厂化生产,既能保证构件质量,还可降低原材料消耗,节省大量人力、物力。施工速度快,工期短,施工质量容易保证。而浆砌石和混凝土等重力式挡墙多采用人工衬砌,填土多由人工填筑,速度慢,工期长,而且对基础要求较高,施工质量很难保证。

还有挡墙的抗震、耐寒性能等方面,加筋土挡墙具有很大的优越性,是重力式挡墙无法替代的。加筋土挡墙的垂直布置,一方面可以减少占地面积,另一方面在不允许开挖的地区又可以实施修建工程。这在城市防洪工程、道路建设和地价昂贵的地区,有其显著的经济意义。

6 结 语

我国近几年来,洪水泛滥,各大江大湖、防洪堤工

程、水毁工程亟待建设,如何合理利用有限的资金,高质量、高标准地修建水利工程,是我国水利工程设计、建设者们面临的首要课题,这就要求我们必须解放思想,摒弃旧观念,大胆创新,及时采纳新思想、新技术。事实证明,加筋土技术作为一项新技术,有助于扭转我国水电事业当前资金短缺的局面,能够少花钱,而修建高标准、高质量的防洪堤、水毁工程。

参考文献:

- [1] 游聚祥,杨柳风.加筋土挡墙[M].北京:人民交通出版社,1985.
- [2] 唐善祥,岳向阳,王曙光.加筋土挡墙工程图集[M].北京:人民交通出版社,1997.

(收稿日期:1999-01-18 编辑:熊水斌)

(上接第29页)

有机膨润土是一种触变胶,属非牛顿液体类,主要用于涂料、油漆油墨、化妆品、润滑脂、绝缘材料等。所用膨润土的粒度小于 $2\mu\text{m}$ 的占95%以上。

6 结 语

防渗膨润土是一种有效的防水材料,需求量大。我国在这方面的研究水平虽处领先地位,但不够深入,开发应用也不够规范。

我国的膨润土资源量大面广、大型矿床多,钠基、钙基、铝(氢)基等类型齐全。据统计全国有26个省、自治区赋存有膨润土矿床(点),已探明储量在75亿t以上,为世界之首,需加快研究与开发。

随着科学技术的发展,研究方法和手段的完善,对膨润土成分、性质和性能了解的深化,以及社会发展对矿物原材料需求的增加,膨润土在土木工程和其他领域的应用会越来越广泛。

(作者通信地址:100089 北京市海淀区车道沟南里31号楼,电话:(010)68453967)

参考文献:

- [1] 李苏璋,周运臣.改型钠基膨润土的特征及其应用[J].建材地质,1990(2):25~29.
- [2] 鞠建英.膨润土的永久防水作用及其在土木工程中的应用[J].防水材料,1988(2):18~21.
- [3] 鞠建英.膨润土的防水机理及其在地下工程中的应用[J].特种结构,1991(3):24~28.
- [4] 姚道坤.中国膨润土矿床及其开发应用[M].北京:地质出版社,1994.
- [5] 鞠建英.特种结构地基基础处理手册[Z].北京:建筑工业出版社,2000.
- [6] 张乃娴.粘土矿物研究方法[M].北京:科学出版社,1990.

(收稿日期:1999-04-05 编辑:熊水斌)