

文章编号: 1001-1986(2001)-01-0045-04

水泥土强度的影响因素

周承刚, 高俊良 (中国煤田地质总局水文地质工程地质勘察院, 河北邯郸 056004)

摘要: 水泥浆体搅拌地基加固技术是地基处理的技术方法之一, 其水泥—土固结体的强度主要受地基土的含水量、水泥掺入量及地基土类别的影响。本文通过室内及工业性试验表明: 土体的含水量对水泥土强度具有负作用; 水泥土强度与水泥掺入比不是简单的单调上升关系; 地基土的类别对水泥土强度的影响较大, 淤泥及淤泥质土由于富含有机质, 强度较低, 粉质粘土、粘土形成的水泥土强度较高。

关键词: 地基土; 水泥加固; 影响因素

中图分类号: TU 472. 6 **文献标识码:** A

1 引言

目前, 国内外地基加固处理方法很多, 每一种处理方法都有它的适用范围和局限性。水泥浆体搅拌地基加固技术在软土地基处理中广泛应用, 但地基土的含水量、水泥掺入量及地基土的类别等因素对水泥土强度有很大的影响。在此, 对以上诸因素进行

深入研究, 以利于今后有针对性地选用最优处理配比方法。

2 地基土的含水量对水泥土加固强度的影响

2.1 土体的含水量对水泥土强度的影响

水泥土的无侧限抗压强度随着土样的含水量降低而增大, 由表 1 可见, 当含水量从 15% 降低至

收稿日期: 2000-01-25

作者简介: 周承刚 (1957-), 男, 山东章丘县人, 中国煤田地质局水文地质工程地质勘察院工程师, 从事煤田地质研究。

收缩或固结。实验表明, 这种情况下, 粘土的体收缩率可能达到 15% ~ 30%。失水收缩的粘土吸水后体积将重新增大, 即产生膨胀或隆起。这种由于水位变化、地基土层湿度变化引起地基土层 (持力层) 失水收缩、吸水膨胀, 必将引起房屋基础的变形和不同程度的损坏。对地基处理不好、基础和墙体质量差的农村房屋来说, 这种损坏尤为明显。正是由于上述原因, 使得房屋的裂缝时间多出现在干旱年份。

4.3 建筑物质量因素

从调查中发现, 出现房裂的民房, 大体有以下两类, 一是老房、土房, 年久失修; 二是部分建筑质量较差的民房。从建筑材料 (如土房) 或建筑结构 (如基础

薄弱) 方面来看, 他们多不具备抗扭剪、抗不均匀沉降的能力, 在地壳有轻微蠕动及地下水位下降引起地基物理性质变化的情况下, 就必然会产生一定程度的房裂。

5 结论

通过此次分析, 查清了七五井田范围内房裂的真正原因是区域地质构造活动、工程地质条件变化及房屋建筑质量不良, 与七五煤矿井下开采无关。今后要防止或减少房裂的关键是加强房屋建筑质量管理及合理开采地下水。

Analysis on room-crevice phenomenon in Qiwu Mining District

FU Pei-he, FU Pei-yu, GAO Qing-tao (Qiwu Coal mine, Shandong, Weishan 277606, China)

Abstract The calculation method of mining subsidence is used to determine the mining influence scope to investigate the relationship between room-crevice phenomenon and subsurface mining in Qiwu mining district. Based on comprehensive comparison and analysis of geologic conditions and mining method, reasonable calculation parameters are determined, the final boundary of mining influence is determined with adjustment for calculated boundary and the boundary determined with other method. The result confirmed that there is no relationship between room crevice and subsurface mining. The analysis indicated that the room crevice is caused by regional structure movement, engineering geology and building quality.

Key words houses split; influence boundary of mining; tectonic movement; engineering geology

表 1 含水量与强度的关系

含水量	天然土	47	62	86	106	125	157
%	水泥土	44	59	76	91	100	126
无侧限抗压强度 /kPa		2320	2120	1340	730	470	260

表 2 水泥土含水量试验

土样含水量 %	水泥掺入比 %	水灰比	水泥土含水量 %	含水量减少值 %
46.6	3	0.5	41.0	5.6
46.6	7	0.5	41.9	4.7
46.6	15	0.5	40.4	6.2
46.6	20	0.5	39.4	7.2
50	5	0.5	49.6	0.4
50	10	0.5	47.7	2.3
50	15	0.5	46.1	3.9

表 3 水泥土配比试验成果表

水泥掺入比 %	抗压强度 /kPa		
	8d	14d	28d
10	680	990	1410
12	630	910	1370

47% 时,无侧限抗压强度则从 260 kPa 增加到 2 320 kPa。据大量资料显示,土的含水量每降低 10%,则强度增加 10% ~ 30%。

形成上述现象的原因,是因为水泥土桩体形成时需要大量的水,当土层的含水量为饱和状态时,桩体终凝前的含水量必然要向土体渗透,水渗出的多少,取决于土的含水量,故含水量影响水泥土体强度。再则,硅酸盐水泥完全水化的用水量,仅为水泥重量的 38%,因此,水泥土终凝后,多余的水分将留在桩体中,水分残留的越多,水泥土强度越小。反之,则水泥土强度越大。

通过以下两个不同含水量的地基土水泥搅拌处理后强度比较可以证明以上论点。

大同市某工程,地基土为湿陷性黄土,天然含水量 $W=8.5\%$,湿陷系数 $W_s=0.017$,掺入比 12% 时水泥土 28 天强度为 2.7 MPa。徐州市某工程,地基土为饱和粘土,含水量为 35%,掺入比 12% 时 28 天抗压强度为 1.7 MPa。

2.2 水泥土含水量与原状土含水量的比较

水泥土在硬结过程中,由于水泥水解水化等反应,使部分自由水以结晶水的形式固定下来,故水泥土的含水量略低于天然地基土样的含水量,水泥土的含水量比天然地基土的含水量一般减少 0.5% ~ 7.0%,且随着水泥掺入比的增加而减小。水泥土含水量试验见表 2。

3 地基土水泥掺入量对水泥加固土强度的影响

当不同地方地基土的物理力学性质及土体的矿物成分相同时,水泥掺入比 (T_w) 不相同水泥土的

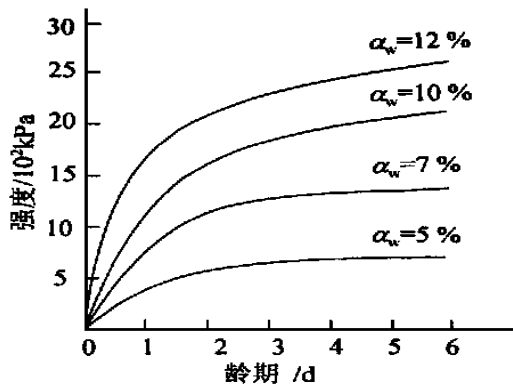


图 1 水泥土掺入比、龄期与强度的关系曲线

强度也不同,当水泥掺入比大于 10% 时,标准强度可达 0.3~3.0 MPa。但因场地土质与施工条件的差异,掺入比的提高与水泥土强度增加的百分比是不完全一致的,如水泥掺入比由 10% 提高到 15%,水泥土 28 天的无侧限抗压强度可提高近一倍,但当水泥的掺入比小于 5% 时,由于水泥与土的反应过弱,水泥土固化程度低,强度的离散性较大,所以在水泥土的实际施工中,选用的水泥掺入比宜大于 7%。(图 1)

需说明的是,一般认为增加水泥掺入比可增加水泥土强度。但也应考虑在水泥土浆体搅拌加固地基土的过程中,水泥掺入地基土的同时,用于拌和水泥浆的水分亦加入到土体中,由于用搅拌加固的地基土多为软土,其特点是强度较低,渗透性较弱,从而造成水泥浆体中的水分不易扩散渗出而滞留于桩体内部。这就产生了矛盾,一方面由于水泥掺入比的提高使得水泥土强度提高;而另一方面由于水泥土体内水分增加而使水泥土强度降低。这主要是由于搅拌过程中未被搅拌均匀的地基土因含水量增高使土颗粒的水化膜过厚而造成强度降低。

如河北省邯郸市交通局培训中心基坑维护工程,基坑开挖深度 6.0 m,地基土主要为粉质粘土,软塑—可塑状态,支护桩型为水泥土搅拌桩,桩径 500 mm,呈格栅式壁状支护形式。在做水泥土配比试验时采用水灰比为 1:1,水泥掺入比分别为 10% 与 12%,试验结果见表 3。

分析结果表明,水泥掺入比 12% 时水泥土强度低于掺入比为 10% 时的水泥土强度,其原因是用水泥浆配制水泥土,增加了土中的含水量。尽管试验用水泥浆水灰比都为 1:1,但对不同的掺入比来说,土中增加的水量不同,在增加水泥掺入比的同时也增加了土中水的含量。而对于水泥土强度来说,处于软塑或流塑状态的土,含水量本身就高,再增加水量,对水泥土的强度就会产生负面影响,明显降低水

表 4 不同有机质含量水泥土试块抗压强度对比

序号	酸碱度 pH	有机质含量 %	土样外观	抗压强度 /M Pa		
				7d	28d	90d
1	6.80	0.76	灰色	1.32	2.6	3.41
2	4.70	1.38	灰色	1.10	2.5	2.42
3	5.64	1.59	深灰色	0.62	1.6	1.72
4	7.10	1.15	灰色	0.81	0.9	1.21
5	4.20	2.80	深灰色	0.50	0.79	0.98

表 5 掺入石膏前后的试块强度对比

试 验 样	加固方法	无侧限抗压强度 /k Pa		
		7d	30d	90d
淤泥质 粉质粘土	水泥掺入比 13%	0.57	1.02	1.49
	水泥掺入比 13% 及石膏 3%	0.91	2.03	3.28
淤泥质粘土	水泥掺入比 15%	0.94	1.56	2.40
	水泥掺入比 15% 及石膏掺入比 2%	1.98	3.74	4.75

泥土的强度。在掺入比相同的条件下,增加相同的含水量,对于天然含水量高的地基土所产生的负影响,比对含水量低的土产生的负面影响要大。

4 地基土的类别对水泥土强度的影响

4.1 淤泥 淤泥质土组成的地基

淤泥 淤泥质土组成的软土主要由粘土粒和粉粒组成,属于粘土、粉质粘土范畴。该类土特点是粘土粒含量高,可达 60%~70%,粘土粒矿物成分为高岭石、蒙脱石和伊利石等,以伊利石最为常见。软土中常含有大量的有机物,使土呈灰、灰绿、灰黑色,具臭味;呈蜂窝状或絮状结构,松散多孔,具显著的结构性和流变性;构造比较复杂。为了探讨水泥浆体技术对有机质含量较高地基加固效果,对有机质含量不同的地基土做水泥土配比试验,水泥浆用普通硅酸盐水泥 42.5,水泥掺入比为 13%,水灰比为 0.5,不掺外掺剂,在 5 cm×5 cm×5 cm 的试模手工压注成型,各期龄的无侧限抗压强度见表 4。

由上述分析可知,有机质含量少的水泥土强度比有机质含量高的水泥土强度高,由于有机质的存在,使土壤具有较大的水容量和塑性,较大的膨胀性和低渗透性,并使地基土具有酸性,这些因素都阻碍水泥水化反应的进行,因而水泥水化物生成较少,水泥土强度较低。

在充分借鉴前人技术成果的基础上,研究了以石膏为外掺剂对有机质含量高的地基土进行水泥浆体搅拌加固的影响。试验结果表明,石膏为外掺剂可以提高水泥土的质量。(表 5)

下面为一工程实例:

金陵石化公司南京炼油厂拟在厂区建造 50 000 m²浮顶式钢结构原油储罐,罐的地基承载力要求达

表 6 搅拌桩标贯检验对应值

龄期 /d	统计桩数	标贯深度及标贯击数			
		< 6m	< 12m	< 18m	< 26m
10	38根	38	24	16	13
30	4根	43	28	18	20

表 7 沉降观测数据表 mm

测点号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
沉降值	64	55	51	47	41	48	38	36	37	39	42	46	49	48	51	61

到 240 kPa,油罐差异沉降要求在 2‰之内,根据南京炼油厂设计院设计,采用浆体搅拌地基处理方案。该地基土为承载力 70 kPa 的淤泥质土层,下卧持力层为细粉砂层,水样测定报告表明,场区浅层地下水的 pH 平均值为 6.7,属中性偏弱酸性土,水中硫酸根含量为 60 mg/L。

设计布桩按 1.2 m×1.2 m 方格布桩,桩长 16 m,选用固化剂为 52.5 矿渣水泥,水泥掺入比为 15%,外掺剂为 2% 石膏粉,要求桩身在龄期 10 d 标贯击数不得小于 10 击,龄期 30 d 最低标贯击数不得小于 16 击。

在施工完成 10d、30d 搅拌桩标贯试验对应值见表 6。

结果表明,标贯击数随着龄期增长而增大,桩身各段不同深度标贯击数平均值远远大于设计要求。施工结束,满水稳定半月测得沉降结果见表 7。

最大沉降出现在正北为 64 mm,而最小沉降在正南为 36 mm,差异沉降为 0.4‰,满足设计要求。实践证明,淤泥和淤泥质土,含水量大,并有有机质存在,这种土形成的水泥土固结强度较低,其早期强度更低。因此,在淤泥质土中设计水泥土桩,对其强度要特别注意,要选择适当的早强剂,以满足地基强度的要求。

4.2 一般性粉土及粉质粘土

由于一般性粉土、粉质粘土的主要成分为石英、长石以及粘土矿物,加入水泥后形成水泥土的强度主要和粘土矿物性质与含水量有关。一般说来,对于无粘性的细粒土,其水泥土性质类似于混凝土,粉粒质类似于骨料,水泥浆类似于充填物,故而具有较高强度。对于有粘性的细粒土,由于粘土矿物参与水泥的水解、水化学反应,故而与粘土矿物的成分有关。一般来说,高岭石类粘土矿物形成的水泥土强度偏高,蒙脱石次之,伊利石强度最低。下表为邯郸、邢台两地取样的水泥土试验成果。(表 8)

4.3 含可溶盐的地基土

地基中含有硫酸盐类时,SO₄²⁻与水泥土中的钙离子反应生成石膏,石膏又与水化铝酸钙反应生成

表 8 室内水泥土试验成果表

取样地点	土的名称	水泥掺入比 /%	水泥土无侧限抗压强度 /M Pa		
			7d	14d	28d
邢台	粉土	12	1.24	1.55	2.25
邯郸	粉粘	12	0.63	0.91	1.37

三硫型水化硫铝酸钙,使一部分自由水转化成结晶水而减少水的含量,同时体积增大 1.5 倍,有利于土体结构和固粒化作用。作为塑化剂的水分减少也有益于水泥土强度提高。

硫酸盐类适量且水泥与土搅拌均匀时,由于水泥土中孔隙较多,土粒团有较大的可压缩性,允许一定膨胀,膨胀压密有利于土体固结和固粒化,水化硫铝酸钙晶体的胶结、络和作用也有利于水泥土强度。但若硫酸盐类含量过大或虽适量但水泥与土搅拌不均而在某一部位聚集时,膨胀会超过水泥水化物的胶结、络和作用产生的粘结强度而使已形成的水泥土网状结构产生破坏。当膨胀超过水泥土强度时,会使已形成的水泥土破坏。这种由于硫酸盐类存在而不利于水泥土的强度,在宏观上就是硫酸盐类结晶性侵蚀。硫酸根离子对水泥土结构的破坏作用类似于水泥的安定性不良,故对含有硫酸根离子多的地基土使用浆体搅拌地基加固时,最好选用抗硫酸水泥或者矿渣水泥,使水泥产生的结晶膨胀物质控制在一定范围内。

当地下水中镁盐较多时,镁盐会与氢氧化钙反应生成松软无胶结力的胶体氢氧化镁而使水泥土强度降低。当镁盐为硫酸镁时,会发生硫酸盐类的双重作用而使水泥土强度更低。

若地下水中氯化物较多时,氯离子与钙离子生成易溶于水的氯化钙使水泥土强度降低。我们自己配制的水泥土试块也证明了上述观点。所做试验取自邯郸的粉质粘土,含水量为 21%,按 15% 的掺入比用水灰比 1:1 的水泥浆进行水泥土拌和。在水泥土拌和过程中,对两组试样分别加入 0.81% 和 1.5% 的氯化镁。28 d 水泥土无侧限抗压强度分别为 2.08 M Pa 和 0.85 M Pa,这说明了氯化物对水泥土强度的负作用。

Control factors of grouting soil

ZHOU Cheng-gang, GAO Jun-liang (Hydrogeology and Engineering Geology Surveying Institute, China National Administration of Coal Geology, Handan 056004, China)

Abstract Grouting soil stirring for foundation improvement is one of techniques of foundation treatment. The intensity of consolidated mixture of cement and soil is controlled by water content, the volume of blended cement and the kinds of subsoil. The laboratory and in situ experiment results show that the water content influences the intensity of grouting soil negatively; the relationship between intensity of grouting soil and the volume of blended cement is not simple positive correlation, and the influence of soil kinds is relatively larger. The intensity of sludge and mud is lower, because of their large content of organic matter, but the intensity of grouting soil formed by silt and clay is larger.

Key words foundation soil; cement stabilization; influencing factors

实际上,水泥外掺剂的作用就是阻止使水泥土强度降低的化合物的生成,由于水泥土与普通砼的胶凝材料同为硅酸盐水泥,所以某些用于混凝土的外加剂也适用于水泥土。多数分散剂、钠离子碱和钠离子盐的化学试剂,可使水泥加固土试样的干容重有所增加而增强加固效果,其中最有利的是苛性钠、无水苏打和铝酸钠。氯化钙和以三乙醇胺为基础的复合早强剂也有加固效果,因为加入氯化钙可阻止水泥土中氯化钙的生成,且钙离子的加入有利于生成硅酸钙。试验表明:水泥加固粘土,掺入 1% 氢氧化钠,可提高水泥土强度一倍以上,掺入 1% 碳酸钠,水泥土强度可提高 70%。

当外掺剂为石膏时,作用与地下水中硫酸盐类相同。当石膏含量过多即表现为安定性不良。水泥土虽允许一定膨胀量而对安定性不良要求拓宽,安定性不良也可能在早期显示出好的结果,但对后期强度的破坏要经过较长时间才出现,而地基缺陷具有隐蔽性且难补救,所以石膏及安定性不良的水泥必须通过试验慎重使用。

5 结论

水泥浆体搅拌地基加固,土体含水量对水泥土强度具有负作用,且水泥的含水量一般低于周围土介质的含水量。

水泥掺入比与水泥土强度的关系不是简单的单调上升关系,在分析其对水泥强度的影响时应考虑由于水泥掺入比的提高引起的水泥土体含水量升高而产生对水泥土强度的负作用。

地基土的类别对水泥土强度影响较大,对于淤泥及淤泥质土组成的地基由于土富含有机质不利于水泥土的生成,故水泥土强度较低,改良措施可加入石膏;对于一般性粉土、粉质粘土,粘土搅拌形成水泥土强度较高。对于含可溶盐和硫酸盐类的地基土,如硫酸盐含量低时,可提高水泥强度。但是越过一定限度时,对水泥土强度有负作用。镁盐及氯化物使水泥土强度降低。