

低温环境下水泥土挤密桩的水泥土强度试验

孔海峡,薛贵金,左立富

(中国水利水电第三工程局有限公司,陕西 西安 710032)

摘要:为了保证水泥土挤密桩在冬季施工过程中桩体水泥土不被冻胀破坏,在低温环境下进行了水泥土挤密桩水泥土强度试验,试验在符合要求的土料中按不同水泥用量(6%,8%,10%)同时掺入不同细度要求的2%生石灰粉和不同比例(0.15%,0.25%)的元明粉分别配制土样,在-10℃低温环境条件下1~3h后成型,在6~8℃和10~13℃环境下养护,养护完成后逐一进行强度试验。试验结果表明,8%水泥用量,掺入400目或200目2%生石灰粉和0.15%,0.25%元明粉均可以满足1.3MPa设计强度要求;从降低成本角度,推荐采用单掺0.20%~0.25%元明粉配制的水泥土,可以满足设计和规范规定的强度要求,且施工操作更简便。

关键词:水泥土;水泥挤土密桩;生石灰粉;元明粉;低温环境;强度试验

中图分类号:TU502 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2012)05-0071-03

Strength tests on cement soil for cement soil compaction pile under low-temperature environment//KONG Haixia, XUE Guijin, ZUO Lifu (Sinohydro Engineering Bureau 3 Co., Ltd., Xi'an 710032, China)

Abstract: For the purpose of avoiding frost-heave damage of the cement soil of cement soil compaction piles during construction in winter, strength tests on their cement soil under low-temperature environment are carried out. The samples are prepared by use of the satisfactory soil materials, among which, the cement at a percentage of 6%, 8%, 10% is mixed with 2% quicklime powder with different finenesses and sodium sulphate with different proportions of 0.15% and 0.25%. The soil samples are molded under -10℃ for 1-3 hours and then cured under 6-8℃ and 10-13℃, respectively. The strength tests are performed after they are cured. The results show that the design strength requirement of 1.3 MPa can be satisfied by mixing the cement at a percentage of 8% with the 2% quicklime powder with 400- or 200-mesh and the sodium sulphate with proportions of 0.15% and 0.25%. From the viewpoint of cost analysis, the cement soil prepared only by use of the sodium sulfate with proportions of 0.20%-0.25% can meet the design and specification strength requirements, and its construction process is much simpler.

Key words: cement soil; cement soil compaction pile; quicklime powder; sodium sulphate; low-temperature environment; strength test

新建大同至西安铁路客运专线站前2标位于忻州市忻府区、太原市阳曲县、尖草坪区境内,历年极端最低气温-25.8℃,沿线新黄土分布广泛,具湿陷性,湿陷性黄土厚度为5~10m,湿陷系数为0.015~0.054。由于工程施工需要,部分水泥土挤密桩工程需要进行冬季施工,为了保证冬季施工过程中水泥土不被冻胀破坏,进行了水泥土挤密桩低温环境试验研究。采用符合要求的土料按不同水泥用量同时掺入不同细度要求的2%磨细生石灰粉和不同比例的元明粉配制土样进行强度试验,以解决水泥土挤密桩的桩体材料水泥土在冬季能顺利施工的问题,保证施工简便和各项指标满足设计及规范要求^[1-6]。

1 试验方法

1.1 试验依据及要求

a. 试验按照TB10102—2004《铁路工程土工试验规程》^[7]和《高速铁路路基工程施工技术指南》(铁建设[2010]241号)进行。

b. 设计要求:设计要求水泥土挤密桩填料的配合比为水泥与土质量比8:100,28d无侧限抗压强度为1.3MPa。按照工地现场提供的土样,最优含水率为15.3%。

c. 环境要求:①低温下水泥土拌制完成后在-10℃环境条件下3h内不被冻结,水泥土拌制量根

作者简介:孔海峡(1972—),男,河南洛阳人,高级工程师,主要从事铁路专业综合技术施工研究。E-mail:khx095@163.com

据施工能力拌制,保证 3 h 内灌入水泥土挤密桩成孔内;环境温度低于-10℃ 停止施工^[8]。②要求工地现场设计桩长以上覆盖层不小于 1 m 成孔,以保证桩土挤密效果和水泥土强度发展需要的养护环境温度在 6~8℃ 以上,为水泥水化热发展提供条件,使水泥土强度能够发展。

1.2 试验材料

a. 土样:由工地现场提供。该土样试验结果烧失量为 1.8%,最大干密度为 1.79 g/cm³,最优含水率为 15.3%。

b. 水泥:采用质量合格的 P. O. 42.5 水泥^[9]。

c. 掺和料:200 目和 400 目生石灰粉,元明粉。采用生石灰粉^[8,10]的作用是提高水泥土早期的放热量,一定程度上提高水泥土早期的内部温度,促进水泥早期的水化反应,改善低温下水泥土的可施工性能。所采用的石灰应是没有熟化的生石灰粉,而不是熟化后的消石灰粉。若采用消石灰粉,主要成分为氢氧化钙,水化时不再放热,将达不到效果。而采用生石灰粉,水化放出热量,可以降低施工过程中的热量损失,对水泥土不冻结有益,生成的氢氧化钙可以在水泥土中起到加强作用。但不能采用块状的生石灰,因为石灰中的过火石灰将对水泥土结构产生危害。采用元明粉的作用是有助于降低冰点,同时参与化学反应,促进水泥的水化和放热,提高水泥土的抗冻性。

1.3 试样制作及试验步骤

模拟实际工程低温的工况,按照工地黄土的最优含水率 15.3% 进行试验。首先把土烘干备用,取一定量的干土配制成 12.3% 含水率的浸润土,在 6~8℃ 环境中静置 24 h 后,加入 3% 的水使得土达到最优含水率,按照一定的配合比加入水泥、石灰粉、元明粉等拌和制作水泥土试样,放入温度为-10℃ 的冰柜中恒温 1~3 h 后成型。每组 6 块试件,放置到温度为 6~8℃ 和 10~13℃ 的环境中,塑料薄膜密封 6 d 养护。试样制作好后按 TB10102—2004《铁路工程土工试验规程》进行强度试验。试验过程中水泥土体在-10℃ 环境下静置,3 h 后温度在-2~0.5℃ 之间,但保证水泥土不结冰,不结冰的目的是保证水泥土试件能成型密实。

1.4 试验配比设计

试验分 3 种情况进行:单掺元明粉、同时掺 400 目生石灰粉和元明粉、同时掺 200 目生石灰粉和元明粉,具体方案见表 1~3。

a. 400 目生石灰粉和元明粉作用下的强度试验配比。在土料中掺入 2% 生石灰粉和 0.15%,0.25% 元明粉制配水泥土,水泥土在-10℃ 低温 1~3 h 后成型,分别在 6~8℃,10~13℃ 环境下养护。

具体配比数据见表 1。

表 1 400 目生石灰粉和元明粉作用下的强度试验配比

试验 编号	水泥 掺量/%	400 目生石灰粉 掺量/%	元明粉 掺量/%	养护 温度/℃	试样恒温 成型时间/h
A1	6	2	0.15	10~13	1
A2	6	2	0.15	10~13	2
A3	6	2	0.15	10~13	3
B1	6	2	0.15	6~8	1
B2	6	2	0.15	6~8	2
B3	6	2	0.15	6~8	3
C1	6	2	0.25	6~8	1
C2	6	2	0.25	6~8	2
C3	6	2	0.25	6~8	3
E1	8	2	0.15	6~8	1
E2	8	2	0.15	6~8	2
E3	8	2	0.15	6~8	3
F1	8	2	0.25	6~8	1
F2	8	2	0.25	6~8	2
F3	8	2	0.25	6~8	3
F4	8	2	0.15	10~13	1
F5	8	2	0.15	10~13	2
F6	8	2	0.15	10~13	3
TA1	10	2	0.15	6~8	1
TA2	10	2	0.15	6~8	2
TA3	10	2	0.15	6~8	3
TB1	10	2	0.25	6~8	1
TB2	10	2	0.25	6~8	2
TB3	10	2	0.25	6~8	3

b. 200 目生石灰粉和元明粉作用下的强度试验配比。由于 200 目的生石灰粉比 400 目生石灰粉便宜,在满足要求的前提下,应尽可能寻找价格更低的材料,为此进行了掺加 200 目生石灰粉的强度试验。在土料中掺入 2% 的 200 目生石灰粉和 0.15%,0.25% 元明粉制配水泥土,水泥土在-10℃ 低温 1~3 h 后成型,在 6~8℃ 环境下养护。具体配比数据见表 2。

表 2 200 目生石灰粉和元明粉作用下的强度试验配比

试验 编号	水泥 掺量/%	200 目生石灰粉 掺量/%	元明粉 掺量/%	养护 温度/℃	试样恒温 成型时间/h
B12	6	2	0.15	6~8	1
B22	6	2	0.15	6~8	2
B32	6	2	0.15	6~8	3
C12	6	2	0.25	6~8	1
C22	6	2	0.25	6~8	2
C32	6	2	0.25	6~8	3
E12	8	2	0.15	6~8	1
E22	8	2	0.15	6~8	2
E32	8	2	0.15	6~8	3
F12	8	2	0.25	6~8	1
F22	8	2	0.25	6~8	2
F32	8	2	0.25	6~8	3
TA12	10	2	0.15	6~8	1
TA22	10	2	0.15	6~8	2
TA32	10	2	0.15	6~8	3
TB12	10	2	0.25	6~8	1
TB22	10	2	0.25	6~8	2
TB32	10	2	0.25	6~8	3

c. 单掺元明粉的强度试验配比。在土料中掺入 0.15% ,0.20% ,0.25% ,0.35% 元明粉制配水泥土,水泥土在-10℃低温 1~3 h 后成型,在 6~8℃环境下养护。具体配比数据见表 3。

表 3 单掺元明粉的强度试验配比

试验编号	水泥 掺量/%	元明粉 掺量/%	养护 温度/℃	试样恒温 成型时间/h
G1	6	0.15	6~8	1
G2	6	0.15	6~8	2
G3	6	0.15	6~8	3
H1	8	0.20	6~8	1
H2	8	0.20	6~8	2
H3	8	0.20	6~8	3
J1	8	0.25	6~8	1
J2	8	0.25	6~8	2
J3	8	0.25	6~8	3
K1	8	0.35	6~8	1
K2	8	0.35	6~8	2
K3	8	0.35	6~8	3

2 试验结果及分析

2.1 400 目生石灰粉和元明粉作用下的强度试验结果

400 目生石灰粉和元明粉作用下的强度试验结果见表 4。水泥用量为 6% 时,掺入 2% 生石灰粉和 0.15% ,0.25% 元明粉,在 6~8℃ 环境下养护,无侧限抗压强度为 1.15 MPa 和 1.21 MPa(试样恒温成型时间为 3 h 的强度值,下同),不能满足设计强度要求;在 10~13℃ 环境下养护,无侧限抗压强度为 1.29 MPa,虽然基本满足设计强度要求,但没有富余。水泥用量为 8% 时,在 6~8℃ 环境下养护,无侧限抗压强度为 1.34 MPa 和 1.40 MPa,有一定富余值;在 10~13℃ 环境下养护,无侧限抗压强度为 1.44 MPa,满足设计强度要求^[11]。水泥用量为 10% 时,在 6~8℃ 环境下养护,无侧限抗压强度为 1.75 MPa 和 1.82 MPa,远超设计强度要求。

表 4 400 目生石灰粉和元明粉作用下的强度试验结果

试验编号	无侧限抗压 强度/MPa	试验编号	无侧限抗压 强度/MPa
A1	1.40	F1	1.52
A2	1.36	F2	1.45
A3	1.29	F3	1.40
B1	1.26	F4	1.58
B2	1.16	F5	1.49
B3	1.15	F6	1.44
C1	1.19	TA1	1.99
C2	1.20	TA2	1.88
C3	1.21	TA3	1.75
E1	1.46	TB1	2.08
E2	1.35	TB2	1.89
E3	1.34	TB3	1.82

2.2 200 目生石灰粉和元明粉作用下的强度试验结果

200 目生石灰粉和元明粉作用下的强度试验结

果见表 5。水泥用量为 6% 时,掺入 2% 生石灰粉和 0.15% ,0.25% 元明粉,在 6~8℃ 环境下养护,无侧限抗压强度为 1.15 MPa 和 1.18 MPa,不能满足设计强度要求。水泥用量为 8% 时,在 6~8℃ 环境下养护,无侧限抗压强度为 1.33 MPa 和 1.38 MPa,满足设计强度要求,并有一定的富余值。水泥用量为 10% 时,在 6~8℃ 环境下养护,无侧限抗压强度为 1.76 MPa 和 1.82 MPa,远超设计强度要求。

表 5 200 目生石灰粉和元明粉作用下的强度试验结果

试验编号	无侧限抗压 强度/MPa	试验编号	无侧限抗压 强度/MPa
B12	1.23	F12	1.50
B22	1.15	F22	1.43
B32	1.15	F32	1.38
C12	1.25	TA12	1.96
C22	1.20	TA22	1.82
C32	1.18	TA32	1.76
E12	1.45	TB12	2.01
E22	1.37	TB22	1.83
E32	1.33	TB32	1.82

2.3 单掺元明粉的强度试验结果

单掺元明粉的强度试验结果见表 6。水泥用量为 6% 时,单掺 0.15% 元明粉,无侧限抗压强度 1.28 MPa,不能满足设计强度要求。水泥用量为 8% 时,单掺 0.20% ,0.25% ,0.35% 元明粉,无侧限抗压强度分别为 1.34 MPa,1.35 MPa,1.35 MPa,满足设计强度要求,并略有富余。元明粉的掺量超过 0.40% 以后,水泥土的强度有下降的趋势,因此,采用元明粉时,其掺量不宜过大。

表 6 单掺元明粉的强度试验结果

试验编号	无侧限抗压 强度/MPa	试验编号	无侧限抗压 强度/MPa
G1	1.44	J1	1.47
G2	1.31	J2	1.39
G3	1.28	J3	1.35
H1	1.45	K1	1.59
H2	1.38	K2	1.40
H3	1.34	K3	1.35

3 结 论

a. 水泥用量为 8% 时,掺入 400 目或 200 目 2% 生石灰粉和 0.15% ,0.25% 元明粉均可以满足 1.3 MPa 设计强度要求。水泥用量为 8% 时单掺 0.20% ~0.25% 的元明粉均满足 1.3 MPa 设计强度要求。

b. 通过对试验结果对比分析和成本分析,推荐水泥土单掺 0.20% ~0.25% 元明粉的配比。同时为满足水泥土各项性能指标对材料提出如下要求:

(下转第 77 页)

因素有:①建基岩体上部工程开挖造成的岩体卸荷;②坝基内部洞室(包括排水洞、灌浆洞以及岩脉置换洞)开挖造成岩体内部的二次应力调整;③构造作用造成岩石内部的损伤,以矿物中透入性裂隙为微观表现形式,以普遍发育的缓倾角裂隙为宏观表现形式;④断层和规模较大且破碎的辉绿岩脉相互切割构成的控制性岩体结构,岩脉与断层纵横交错,劣化了建基岩体质量;同时,在岩体开挖以后,岩脉与断层成为应力释放的主要通道,自身张开或者诱发周围花岗岩体内部裂隙张开。

总之,建基岩体结构特征控制着岩体的应力调整方式,作为岩体结构主体的缓倾角裂隙和较大规模岩脉断层附近主要分布第Ⅱ类和第Ⅰ类波速曲线,可以看出,结构面是应力释放的“窗口”。当某一部位岩体附近结构面发育时,该部位岩体松弛明显;无结构面时,岩体则需要寻找更远的应力释放途径,该部位岩体松弛不明显。大岗山水电站建基岩体为古老的花岗岩,经历了多期次的构造活动作用,岩体内结构面发育,卸荷回弹便于进行,这一内因与诱因相辅相成的关系最终通过波速测试成果体现出来。

3 结 论

- a. 大岗山水电站建基岩体的波速测试结果普遍较低,表明两岸建基岩体的整体性状欠佳。
- b. 大岗山水电站拱坝建基岩体的波速曲线可以归纳为3种类型:第Ⅰ类,阶梯上升状,对应浅表层松弛型;第Ⅱ类,波状,对应岩体表层与内部共同松弛型;第Ⅲ类,近直线状,对应无松弛型。
- c. 通过钻孔岩芯和孔内电视摄像的分析,建基岩体整体性状欠佳主要受诱因(建基面上部岩体以及岩体内部洞室的开挖卸荷作用)和内因(岩体结构特征)的综合作用,二者相辅相成,共同导致岩体松弛。

参考文献:

[1] 聂运钧,肖国强,王法刚. 声波法在三峡坝基岩石力学试验中的应用[J]. 岩土力学,2003,24(增刊1):175-177.

[2] 王法刚,尹健民,李维树. 某水电站坝基岩体变形模量与波速相关性研究[J]. 地下空间与工程学报,2006,2(6):903-906.

[3] 赵如雄. 锦屏一级水电站建基岩体质量评价[D]. 成都:成都理工大学,2010.

[4] 张倬元,王士天,王兰生,等. 工程地质分析原理[M]. 北京:地质出版社,2002:10-13.

[5] WICKHAM G E, TIEDEMANN H R, SKINNER E H. Support determination based on geologic predictions[C]//LANE K S, GARFIELD L A. Proc of North American

Rapid Excavtunneling Conf. New York; Soe Min Engrs, 1972:43-64.

[6] BIENIAWSKI Z T. Rock mass classification in rock engineering [C]//BIENIAWSKI Z T. Proc of the Exploration for Rock Engineering. Cape Town; Balkema, 1976: 97-106.

[7] BARTON N R. A review of the shear strength of filled discontinuities in rock[J]. Norwegian Geotech,1974(105):1-38.

[8] 谷德振,黄鼎成. 岩体结构的分类及其质量系数的确定[J]. 水文地质工程地质,1972(2):8-13.

[9] 黄润秋,王士天,张倬元,等. 中国西南地壳浅表层动力学过程与工程环境效应研究[M]. 成都:四川大学出版社,2002.

[10] 覃礼貌. 大岗山拱坝坝基(肩)控制性岩体结构的系统工程地质研究[D]. 成都:成都理工大学,2007.

(收稿日期:2011-11-10 编辑:骆超)

(上接第73页)

①水泥宜采用质量合格的 P. O42.5 水泥;②元明粉采用Ⅰ类一等品,即无水硫酸钠的质量分数大于99.0%,白色细粒结晶或粉末,易溶于水,有吸湿性,无臭,无毒,应预防受潮;③土质成型含水率应为最佳含水率,避免土质含水率的不稳定引起水泥土强度的变化。

参考文献:

[1] 黄新,杨晓刚,胡同安. 低温对水泥加固土强度发展的影响[J]. 工业建筑,1994(9):11-15.

[2] 宁宝宽,陈四利,刘斌. 冻融循环对水泥土力学性质影响的研究[J]. 低温建筑技术,2004(5):8-13.

[3] 陈帮建,李瑞,陈美芳. 水泥土强度试验主要影响因素的探讨[J]. 岩矿测试,2005,24(2):25-30.

[4] 李志斌,叶观宝,徐超. 水泥土添加剂室内配比试验的模糊正交分析[J]. 水文地质工程地质,2005,32(4):6-10.

[5] 兰凯,黄汉盛,鄢泰宁. 掺入矿渣的水泥土强度模型试验研究及其配方优化[J]. 水文地质工程地质,2007,34(5):17-23.

[6] 周辉峰,王贵和,储江生. 夯实水泥土桩的加固机理与影响其加固强度的主要因素[J]. 探矿工程:岩土钻掘工程,2001(增刊1):25-30.

[7] TB10102—2004 铁路工程土工试验规程[S].

[8] JC/480—1992 建筑生石灰粉[S].

[9] GB175—1999 硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥[S].

[10] JC/T478.2—1992 建筑石灰试验方法/化学分析方法[S].

[11] TB10751—2010 高速铁路路基工程施工质量验收标准[S].

(收稿日期:2011-12-21 编辑:熊水斌)