桐柏抽水蓄能电站工程骨料对比试验

曹学有[1],邱元秀[2]

(1.浙江省建筑科学设计研究院,浙江 杭州　310012;2.中国水利水电第十二工程局施工科研所,浙江 建德　311600)

摘要:结合桐柏抽水蓄能电站施工现场实践,在桐柏电站试验室对来自同一料场的骨料作了含泥量及泥块含量检验,并且采用含泥量不同的粗、细骨料作组合进行混凝土配合比对比试验,分析骨料含泥量大小对混凝土强度的影响.针对同一骨料所处状态——自然风干、饱和面干及烘干 3 种状态,进行了混凝土配合比对比试验,分析拌和骨料所处状态对混凝土性能的影响.

关键词:桐柏抽水蓄能电站;骨料含泥量;混凝土强度;骨料状态;混凝土性能

中图分类号:TU502　　文献标识码:B　　文章编号:1006-7647(2005)S1-0060-03

桐柏抽水蓄能电站由上、下水库,以及输水系统、地下厂房、地面建筑等组成.该电站是日调节纯抽水蓄能电站,发电有效库容 1 063 万 m^3,总装机容量 4×300 MW,与秦山核电配套运行,是华东电网继天荒坪抽水蓄能电站之后的又一座大型抽水蓄能电站.该工程土建施工混凝土浇筑量约 2.3 万 m^3,对于骨料等原材料的质量控制是确保混凝土施工质量的基础,特别是对骨料含泥量的控制要加以重视.

1　混凝土配合比及骨料组合对比试验

桐柏电站工程生产混凝土所用黄砂、卵石均来自浙江天台隔水江料场,桐柏电站试验室按照混凝土普通集料取样规则及方法,对不同进场批次、洁净程度不一的黄砂和两种规格的卵石各抽取 2 个样品,分别做了含泥量及泥块含量检验,并采用含泥量不同的骨料作组合进行了混凝土配合比对比试验.

1.1　混凝土配合比试验所用原材料

a. 水泥:采用诸暨"八方"42.5 普通硅酸盐水泥.

b. 粗骨料:采用 5~20 mm 和 20~40 mm 二级配卵石,其含泥量、泥块含量检验结果见表 1.

表 1　卵石质量检验结果

卵石代号	卵石规格/mm	检测值/%		规范[2]对品质要求	
		含泥量	泥块含量	含泥量/%	泥块含量
$g_{0.5}$	5~20	0.5	0	≤1	不允许
$g_{1.0}$	5~20	1.0	0	≤1	不允许
$G_{0.4}$	20~40	0.4	0	≤1	不允许
$G_{0.8}$	20~40	0.8	0	≤1	不允许

注:$g_{0.5}$,$g_{1.0}$,$G_{0.4}$,$G_{0.8}$分别代表含泥量 0.5%,1.0%,0.4%和 0.8%的卵石.

c. 细骨料:采用中砂,其质量检验指标见表 2.

d. 粉煤灰:由浙江台州电厂生产,符合Ⅱ级粉煤灰品质要求,取代水泥率按 15%计.

e. 外加剂:采用中国水利水电第十二工程局科研所混凝土外加剂厂生产的 NMR-Ⅱ型缓凝高效减水剂,掺量为 1.2%,可减水 15%.

表 2　砂子质量检测结果

砂子代号	检测值			规范[2]对品质要求	
	含泥量/%	泥块含量/%	细度模数	含泥量/%	泥块含量
$s_{1.2}$	1.2	0	2.4	≤3	不允许
$s_{2.0}$	2.0	0	2.5	≤3	不允许

注:$s_{1.2}$和 $s_{2.0}$分别代表含泥量为 1.2%和 2.0%的砂子.

1.2　混凝土配合比

以 C25 泵送混凝土配合比为例做对比试验(骨料以自然风干状态为基准),原材料用量如下:混凝土强度等级 C25,水灰比为 0.48,砂率为 36%,坍落度为 140~160 mm;每立方米混凝土材料用量:水泥为 276 kg,粉煤灰为 49 kg,砂为 657 kg,5~20 mm 的卵石为 465 kg,20~40 mm 的卵石为 696 kg,NMR-Ⅱ型外加剂为 3.9 kg,水为 156 kg.

1.3　骨料组合对比试验

以上述含泥量较小的卵石、砂子组合,即 $g_{0.5}+G_{0.4}+s_{1.2}$作为基准试验,以其他含泥量不同的骨料作组合进行对比试验.混凝土配合比采用骨料组合情况及混凝土性能测试结果见表 3.骨料含泥量与强度比变化趋势线见图 1.

作者简介:曹学有(1974—),男,山西临汾人,工程师,从事建筑材料及混凝土试验研究.

表 3　混凝土拌和骨料组合及其性能测试结果

骨料组合情况		粗骨料含泥量/(kg·m^{-3})	细骨料含泥量/(kg·m^{-3})	骨料总含泥量/(kg·m^{-3})	单位用水量/(kg·m^{-3})	坍落度/mm	28 d 抗压强度/MPa	强度比/%
基准试验组合	$g_{0.5}+G_{0.4}+s_{1.2}$	5.1	7.9	13.0	156	155	29.8	—
对比试验组合	$g_{0.5}+G_{0.4}+s_{2.0}$	5.1	13.1	18.2	156	155	29.3	98.3
	$g_{1.0}+G_{0.4}+s_{2.0}$	7.4	13.1	20.5	156	155	28.4	95.3
	$g_{1.0}+G_{0.4}+s_{1.2}$	7.4	7.9	15.3	156	150	28.8	96.6
	$g_{0.5}+G_{0.8}+s_{1.2}$	7.9	7.9	15.8	156	150	28.7	96.3
	$g_{0.5}+G_{0.8}+s_{2.0}$	7.9	13.1	21.0	156	160	28.2	94.6
	$g_{1.0}+G_{0.8}+s_{1.2}$	10.2	7.9	18.1	156	155	27.5	92.3
	$g_{1.0}+G_{0.8}+s_{2.0}$	10.2	13.1	23.3	156	160	27.1	90.9

注："强度比"是相对基准试验而言.

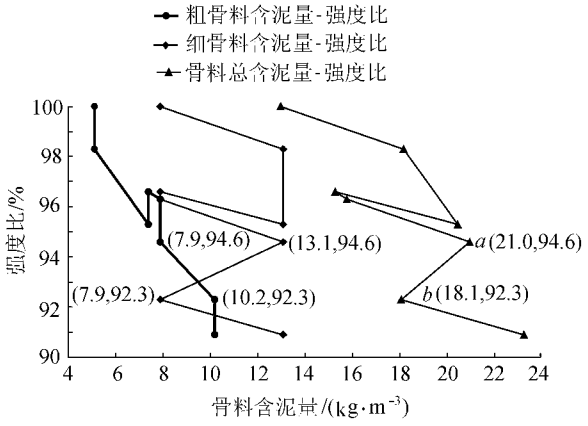

图 1　骨料含泥量-强度比变化趋势线

对比试验结果表明，骨料含泥量对混凝土强度有一定影响. 混凝土强度随骨料含泥量的增大而呈下降趋势，尤其是含泥量较大的粗细骨料组合对混凝土强度影响更大，虽然其含泥量在标准允许范围之内，但是相对于基准试验而言，其混凝土强度下降达 9.1%；从骨料含泥量与强度比变化趋势线分析，粗骨料含泥量对混凝土强度的影响更为明显，趋势线上 b 点相对于 a 点，粗骨料含泥量增大，细骨料含泥量减小，骨料总含泥量在减小，但强度却下降，其原因是粗骨料含泥量增加到最大. 由此可见，骨料含泥量的大小是不容忽视的，它对混凝土强度有不同程度的影响，这就要求建筑施工方对进场骨料含泥量指标严格控制，骨料表面应洁净，如有裹粉、裹泥或被污染等应清除，在标准、规范允许范围内，最大限度地降低骨料含泥量指标.

2　骨料在自然风干、饱和面干及干燥 3 种状态下的对比试验

《普通混凝土配合比设计规程》[1] 中关于混凝土配合比设计说明中提到：混凝土配合比可以以干燥状态骨料为基准给出，也可以以饱和面干骨料为基准给出；在《水工混凝土施工规范》[2] 中关于混凝土配合比设计，规定以骨料饱和面干状态为基准；对于骨料自然风干状态有关规程、规范并未提到. 那么骨料所处状态对混凝土拌和物性能是否有影响，本文针对同一骨料的 3 种状态，在桐柏电站试验室进行了对比试验.

2.1　骨料的制备

取前面所述含泥量较小的自然风干状态下的中砂($s_{1.2}$)以及 5 ~ 20 mm($g_{0.5}$)，20 ~ 40 mm($G_{0.4}$)卵石各 1 份，分别进行①，②，③三等分，使等分①保持自然风干状态，将等分②达到人工饱和面干状态，等分③烘至绝对干燥.

2.2　配合比骨料用量及对比试验结果

仍以上述 C25 泵送混凝土配合比为例，取制备好的 3 种状态的骨料作对比试验，保持 3 种配比的水泥、骨料(干重)、粉煤灰及外加剂用量不变. 以自然风干状态骨料配合比为基准，根据骨料含水率对饱和面干及烘干状态骨料用量作相应的调整，以保证 3 种配比所用骨料干重相同. 3 种配比的骨料用量及其对应的混凝土性能测试结果见表 4、表 5.

表 4　三种配合比骨料用量及其含水量

骨料状态		骨料含水率/%	骨料用量/(kg·m^{-3})	砂率/%	骨料含水量/(kg·m^{-3})
①自然风干	砂 $s_{1.2}$	2.4	657	36	15.8
	5 ~ 20 mm 卵石	0.9	465	—	4.2
	20 ~ 40 mm 卵石	0.6	696	—	4.2
②饱和面干	砂 $s_{1.2}$	4.1	668	36	27.3
	5 ~ 20 mm 卵石	1.8	469	—	8.4
	20 ~ 40 mm 卵石	1.2	700	—	8.4
③烘至干燥	砂 $s_{1.2}$	—	641	36	—
	5 ~ 20 mm 卵石	—	461	—	—
	20 ~ 40 mm 卵石	—	692	—	—

注：在调整单位用水量时保持 3 种配比的骨料含水量与单位用水量之和不变.

表 5　三种配合比单位用水量及其拌和物性能测试结果

拌和物骨料状态	用水量/(kg·m^{-3})	拌和物坍落度/mm	28 d 抗压强度/MPa
自然风干，$s_{1.2}$	156	155	29.8
饱和面干，$s_{1.2}$	136	150	29.9
烘至干燥，$s_{1.2}$	180	160	29.8

注：在调整单位用水量时保持 3 种配比的骨料含水量与单位用水量之和不变.

2.3 骨料状态对混凝土性能的影响

2.3.1 对混凝土强度的影响

从上述对比试验数据看，三者的 28 d 强度差值为 ± 0.1 MPa，说明在配制混凝土时，骨料所处状态对混凝土强度几乎没有影响；从表面上看，单位用水量不同，水灰比似乎有改变，强度应该受到影响，但从理论上分析，3 种配比的骨料含水量与单位用水量之和是相等的，骨料在饱和面干状态下，单位用水量完全以自由水的形式对混凝土和易性起作用，而骨料在自然风干及烘至干燥状态下，单位用水量并不完全以自由水的形式对混凝土拌和物和易性起作用，有相应的一小部分水要被骨料吸收而达到饱和，也就是说 3 种拌和物的自由水最终是相等的，实际的水灰比并未改变，故强度自然也不会受到影响.

2.3.2 对混凝土和易性能的影响

在原材料用量相同的情况下，既然骨料所处状态对混凝土强度没有什么影响，那么笔者所关心的就是混凝土和易性能. 采用 3 种状态骨料所配制的混凝土拌和物坍落度值相比较，偏差为 ± 5 ~ ± 10 mm，拌和物和易性能略有不同. 在拌制混凝土时，采用饱和面干状态骨料，单位用水量完全以自由水的形式对混凝土拌和物和易性起作用；采用烘干或风干状态骨料，由于骨料本身要吸收一小部分水分而达到饱和，若要维持实际水灰比不变，在单位用水量中需增加骨料相应的吸水量. 但是，由于骨料本身吸收水分达到饱和需要一定时间，再加上拌和过程中骨料表面裹有水泥、粉煤粉胶凝材料，从而延迟了骨料吸收水分达到饱和的时间，所以按理论计算所增加的用水量在拌制过程中是不可能完全被骨料吸收的，还有一小部分暂时以自由水的形式存在，进而导致了混凝土拌和物和易性能稍有不同.

在工程建筑施工工地，料仓大多是在露天，施工现场拌制混凝土所用骨料一般是处于自然风干状态，如果试验室以饱和面干状态骨料为基准提供的配合比用于施工现场，那么施工方在调整单位用水量时，需增加按理论计算骨料达饱和所吸收的水分，这对于远距离运输混凝土来说，考虑到运输过程中水分缓慢渗入骨料而达到饱和，一般不会影响到施工和易性，但是对于近距离浇筑混凝土势必会受到影响.

鉴于上述分析，试验室在进行混凝土配合比设计时，以哪种状态的骨料为基准，首先要考虑到混凝土运输距离的远近. 对于近距离浇筑混凝土，最好选用自然风干或烘干状态骨料试配来提供施工配合比；对于远距离运输浇筑混凝土，可以根据现场实际施工条件并参考相关设计规程、规范来确定配合比.

3 结 语

通过上述两例对比试验可以看出，在生产混凝土时，如果采用了含泥量较大的骨料，混凝土强度有不同程度的损失. 另外，试验室在进行混凝土配合比设计时，对于拌和骨料状态——自然风干、饱和面干及烘干 3 种状态的选择也是不容忽视的，虽然它对混凝土强度没有什么影响，但直接影响混凝土拌和物和易性能. 所以，在进行混凝土配合比设计时，拌和骨料选用何种状态，在参考相关设计规程、规范的前提下，还要根据浇筑混凝土运输距离的远近及现场的实际施工条件而定，这样提供的配合比用于施工现场更合理、更有利于施工，既能保证混凝土强度，又能保证施工和易性.

参考文献：

[1] JGJ55—2000，普通混凝土配合比设计规程[S].

[2] DL/T 5144—2001，水工混凝土施工规范 [S].

（收稿日期：2004-09-19　编辑：高建群）

（上接第 36 页）

[4] 顾慰慈. 渗流计算原理及应用[M]. 北京：中国建材工业出版社，2000.

[5] 顾淦臣，戴永志. 株树桥混凝土面板堆石坝漏水事故分析[C]//刘瑛珍，王育阳. 土石坝建设中的问题和经验. 西安：陕西人民出版社，2001：137-140.

[6] 葛祖立. 堆石坝面板垫层的渗透稳定可靠性分析和存在问题[C]//蒋国澄，张博庭，秦明豪. 国际高土石坝学术研讨会论文集. 北京：中国水力发电工程学会，1993：118-120.

[7] 郭诚谦. 论混凝土面板堆石坝设计的若干问题[C]//蒋国澄，张博庭，秦明豪. 国际高土石坝学术研讨会论文集. 北京：中国水力发电工程学会，1993：144-148.

[8] 陈玉暖，刘复明，陈伊冰. 万安溪混凝土面板堆石坝掺配风化花岗岩粗砂垫层料特性及试验研究[C]//蒋国澄，张博庭，秦明豪. 国际高土石坝学术研讨会论文集. 北京：中国水力发电工程学会，1993：75-78.

[9] 郭庆国. 粗粒土的工程特性及应用[M]. 西安：西安交通大学出版社，1998：1-43.

[10] 刘萌成，高玉峰，刘汉龙，等. 粗粒料大三轴试验研究进展[J]. 岩土力学，2002(4)：217-218.

[11] MARSAL R J. Larger scale testing of rockfill materials[J]. ASCE，JSMFD，1967(2)：93：27-43.

[12] 王伯乐. 中国当代土石坝[M]. 北京：中国水利水电出版社，2004：197-198.

（收稿日期：2005-09-01　编辑：熊水斌）