

三峡工程碾压混凝土层面结合性能试验研究

杨华全 周守贤 邝亚力
(材料结构研究所)

摘要 结合三峡工程碾压混凝土的施工特点,对不同层面间隔时间,不同层面处理方式的层面劈拉强度、层面抗剪强度及层面抗渗性能进行了试验研究。结果表明,只要将层面间隔时间控制在碾压混凝土的初凝时间以内,层面可以不作处理;刷毛铺砂浆或水泥浆的层面性能与碾压混凝土整体的性能接近。

关键词 碾压混凝土 层面结合 抗剪强度 三峡工程 配合比

0 引言

碾压混凝土是一种可用土石坝施工机械设备进行运输、铺筑和用振动碾压实的特干硬性混凝土。其筑坝主要特点是施工程序简单,使用通用施工机械施工,采用较高掺量的粉煤灰替代水泥,因而水化热温升低,温控措施简单,坝体上升速度快,造价较低。

我国从 70 年代末期开始对碾压混凝土筑坝技术进行研究。在大量室内外试验研究基础上将其广泛应用于实际工程。目前,我国已建在建和正在设计的碾压混凝土坝已达 40 余座,在碾压混凝土坝设计、现场施工组织和施工工艺等方面积累了丰富的经验,形成了具有中国特色的碾压混凝土筑坝技术。

为了加快施工进度,节省投资,三峡工程纵向围堰及三期上游横向围堰拟采用全断面碾压混凝土修筑。主体工程某些部位或坝段也拟采用碾压混凝土修筑。

碾压混凝土由于其胶凝材料用量相对较少,在运输和铺筑过程中骨料容易分离,使混凝土很难达到均匀,从整体上看其抗渗性能较差。又由于碾压混凝土采用薄层浇筑施工工艺,在建筑物中形成许多层面,尤其是当层面结合不良时,往往形成渗流通道,对建筑物工作性态导致不良影响。因此研究碾压混凝土层面结合特性,对指导工程施工具有现实意义。

1 试验部分

1.1 原材料

(1)水泥:采用葛洲坝水泥厂生产的 $\#$ 425 低热矿渣硅酸盐水泥(简称低热水泥)

(2)粉煤灰:采用松木坪电厂分选灰,经检验符合国标 GB1596-9 III 级灰品质指标

(3)外加剂:采用吉林开山屯化纤厂生产的木钙,掺量为胶凝材料总用量的 0.25%。

(4)骨料:采用长江红花套料场开采的天然砂石料。砂的细度模数为 2.27,视密度为 $2.64\text{g}/\text{cm}^3$,卵石的视密度为 $2.70\text{g}/\text{cm}^3$ 。

1.2 碾压混凝土配合比

三峡大坝碾压混凝土根据大坝稳定、应力、抗渗和温控防裂要求,分成上下两区,上区为 $R_{90}150$,下区为 $R_{90}200$ 。考虑到有可能采用全断面碾压混凝土修筑,上游面用二级配富胶凝材料碾压混凝土,标号为 $R_{90}200$ 碾压混凝土。试验配合比及抗压强度试验结果列于表 1。

1.3 试件制备

层面劈拉强度和层面抗剪强度试验,采用 $15\text{cm} \times 15\text{cm} \times 15\text{cm}$ 的立方体试模,先成型下层碾压混凝土,然后带模养护至规定的层面间隔时间后,再浇筑成型上层碾压混凝土,两天后拆模养护至规定龄期进行试验。层面按不处理、刷毛铺砂浆、刷毛铺水泥浆三种方式处理。层面所铺砂浆、水泥浆的厚度为 1cm,标号比碾压混凝土本体高一个等级。砂浆、水泥浆的配合比及力学强度列于表 2。

表 1 碾压混凝土的配合比及抗压试验

编 号	设计标号	级 配	水胶比	粉煤灰掺量 (%)	砂率 (%)	V/C 值 /s	胶材用量 / $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$		抗压强度 /MPa	
							水 泥	粉煤灰	28d	90d
Y-1	R ₉₀ 150	三	0.51	50	29	12	85	85	11.4	18.4
Y-2	R ₉₀ 200	三	0.50	30	29	12	119	51	16.4	25.8
Y-3	R ₉₀ 200	二	0.41	45	33	11	131	108	17.2	24.5

表 2 砂浆、水泥浆配合比及力学性能

编 号	设计标号	木 钙 (%)	水胶比	粉煤灰掺量 (%)	灰砂比	抗压强度 /MPa	
						28d	90d
砂浆-1	R ₉₀ 200	0.25	0.50		1: 4.0	19.5	25.6
砂浆-2	R ₉₀ 250	0.25	0.45		1: 3.5	26.1	30.5
水泥浆-1	R ₉₀ 200	0.25	0.55	50	-	23.5	26.2
水泥浆-2	R ₉₀ 250	0.25	0.50	50	-	26.1	31.3

层面抗渗试验试件的成型方法如下:

① 将 15cm×15cm×15cm 的立方体试模边壁上涂一层废机油,然后在试模底部沿边壁靠放两个三棱木块,木块使用前先浸水饱和并在表面涂一层废机油

② 将已成型如下层碾压混凝土的试模放入养护室中养护。养护达所需的层面间隔时间后取出试模,然后装入上层碾压混凝土拌和物,并在上表面靠边壁放两个三棱木块,振动压实后放入养护室继续养护。

③ 拆模养护 60d 龄期后,将试件转动 90° 放入抗渗试模中,并使其层面平行于抗渗试模轴线,周围空隙中填满砂浆,2d 龄期后拆模继续养护至 90d 龄期进行抗渗试验

2 试验结果及分析

2.1 碾压混凝土拌和物的凝结时间

用贯入阻力法测定碾压混凝土拌和物的凝结时间,从碾压混凝土拌和物中筛取砂浆装入凝结时间测定仪试模中,砂浆表面加重振动密实。将试件表面抹平,用凝结时间测定仪测定贯入阻力。以贯入阻力为纵坐标,以拌和物加水拌和至测定贯入阻力时所经历的时间为横坐标,将测试结果点绘于图上,在曲线转折点处将测定划分为两组,用“最小二乘法”将两组测点分别用直线方程表示。两直线的交点所对应的时间即为拌和物的初凝时间,从贯入阻力历时曲线上查得贯入阻力为 27.5MPa 所对应的时间即为拌和物的终凝时间。碾压混凝土拌和物凝结时间的测试结果如表 3 所示

表 3 碾压混凝土拌和物的凝结时间

编 号	凝结时间 / (h:min)	
	初 凝	终 凝
Y-1	13: 20	22: 10
Y-2	11: 30	20: 15
Y-3	12: 15	20: 50

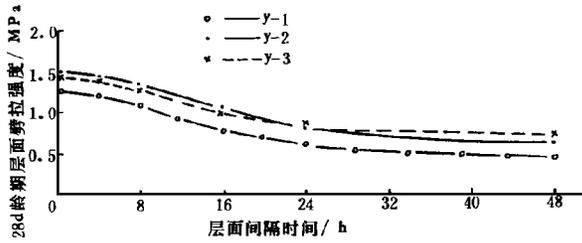
从表 3 可以看出,掺木钙外加剂碾压混凝土的初凝时间在 12h 左右,终凝时间在 21h 左右。二级配碾压混凝土拌和物的凝结时间和三级配碾压混凝土拌和物的凝结时间没有明显差别

2.2 碾压混凝土的层面结合性能

碾压混凝土的层面结合问题,一直是人们普遍关注的重要问题。层面结合的好坏,将直接影响到坝体的安全运行。确保层面结合的质量,主要是严格控制层面暴露时间及合理的层面处理方式。对表 1 中的三个配合比进行了不同层面间隔时间、不同层面处理方式的层面劈拉强度、层面抗剪强度及层面抗渗性能试验。

不同层面间隔时间 28d 及 90d 龄期劈拉强度 (R_{pl}) 及抗剪强度 (R_s) 与层面间隔时间 (t) 的关系如图 1 图 2 图 3 及图 4 所示

从图 1 图 2 图 3 及图 4 可以看出,碾压混凝土层面劈拉强度及抗剪强度随层面间隔时间的延长而降低,但其降低的幅度在不同的间隔时间内是不同的。在最初 8h (初凝时间以内) 及 24~48h (终凝时间以后),层面劈拉强度及抗剪强度降低的幅度均在 10% 左右,而在 8~24h (初凝前后),层面劈拉强度及层面抗剪强度降低幅度在 35% 左右,降低幅度是比较大的。层面抗渗也具有类似的规律性,即层面抗渗标号有随层面间隔时间的延长而降低的趋势。在



注：“o, ., x”分别表示表1中编号Y-1, Y-2, Y-3 碾压混凝土的试验点。图2~图4 相同。

图1 层面 28d 龄期劈拉强度与层面间隔时间关系曲线

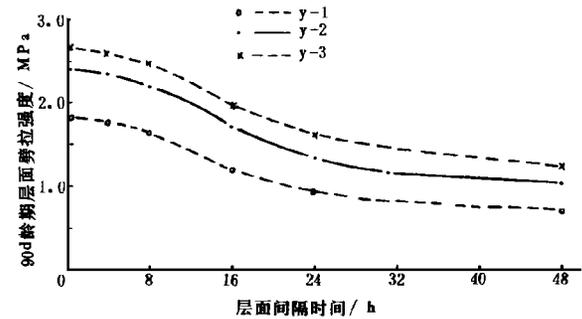


图2 层面 90d 龄期劈拉强度与层面间隔时间关系曲线

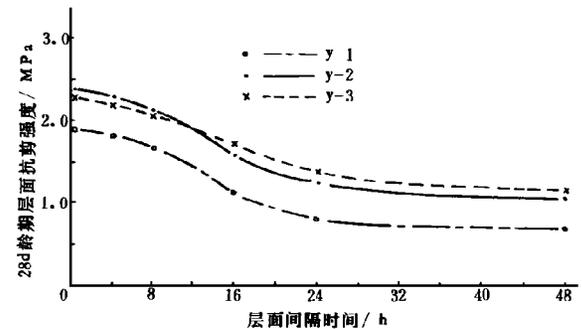


图3 层面 28d 龄期抗剪强度与层面间隔时间关系曲线
初凝以前基本上没有降低, 在初凝以后将显著降低
因此碾压混凝土的层面暴露时间应控制在初凝时间以内, 最好在 8h 以内

从上面的试验结果可以认为, 当下层碾压混凝土未达初凝时, 在正常条件下浇筑上层碾压混凝土, 其层面性能与碾压混凝土的本体性能差别不大。在下层碾压混凝土初凝后, 随着水化产物的大量生成, 水泥浆结构在凝聚结构的基础上形成凝聚——结晶结构网, 粒子之间的相互作用力不是范德华分子力, 而是化学键力或次化学键力。所以结晶结构破坏以

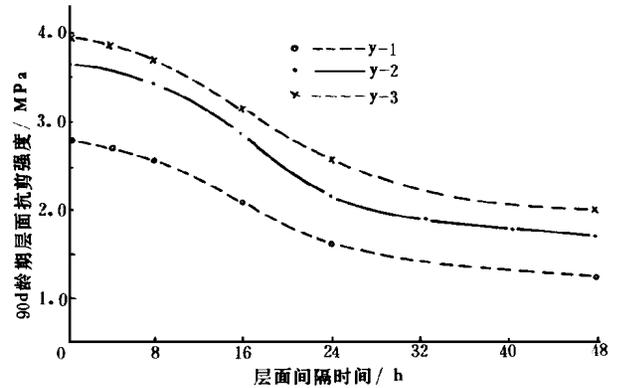


图4 层面 90d 龄期抗剪强度与层面间隔时间关系曲线

后不具有触变复原的性能。这种结构的形成是依靠水化产物粒子间的交叉结合, 或者依靠粒子界面上晶核延生的结果。在此期间, 如果直接在上面浇筑上层碾压混凝土, 将显著降低层面的性能, 尤其是抗渗性能。这是因为, 一方面由于下层碾压混凝土水化产物结晶结构网的形成, 上层碾压混凝土的侵入将破坏下层碾压混凝土中形成的水化产物之间的化学键, 而这种破坏将直接影响层面的结构; 另一方面, 由于下层碾压混凝土开始结晶而具有强度, 此时浇筑上层碾压混凝土, 使上层碾压混凝土紧挨层面处的骨料逐渐开始出现过多的承受外力, 从而使层面出现架空现象。此时, 上下层之间将不再能够完全结合成一个整体, 将形成近似的平面接触, 从而使得层面性能显著降低。

从图1图2图3及图4来看, 层面性能与层面间隔时间的关系曲线似可分为三个阶段: 在层面间隔时间为 0~ 8h 以内, 碾压混凝土尚未初凝, 结构具有触变性, 层面性能随层面间隔时间的延长, 降低比较缓慢, 我们把它称为层面性能第一缓降期, 施工时层面间隔时间应尽量控制在这一阶段内; 在层面间隔时间为 8~ 24h 内, 随着水泥水化产物结构的变化, 粒子之间的相互作用力发生变化, 碾压混凝土由初凝向终凝过渡, 结构已不具有触变性, 层面性能降低比较显著, 我们把它称为层面性能陡降期; 当层面间隔时间大于 24h 时, 由于碾压混凝土已经终凝, 结构强度形成, 结构破坏后不能恢复, 层面性能降低比较缓慢, 且趋于平缓, 我们把它称为第二缓降期。

根据试验结果分析, 碾压混凝土的层面劈拉强度与抗剪强度具有较好的相关性, 回归方程为:

$$R_t = 0.146 + 1.459R_{pi} \quad (r = 0.993, n = 36)$$

表 4 不同层面处理方式层面性能试验结果

编号	间隔时间 /h	层面处理方式	层面劈拉强度 (M Pa)		层面抗剪强度 (M Pa)		层面抗渗标号
			相对于不处理层面强度的百分率		相对于不处理层面强度的百分率		
			28d	90d	28d	90d	
Y-1	24	不处理	0.61/100	0.91/100	0.82/100	1.53/100	S4
		刷毛铺砂浆	1.09/179	1.65/181	1.62/198	2.80/183	S6
		刷毛铺水泥浆	1.18/193	1.72/189	1.85/226	2.96/193	S8
	48	不处理	0.48/100	0.73/100	0.70/100	1.21/100	S2
		刷毛铺砂浆	1.01/210	1.59/218	1.60/229	2.70/223	S6
		刷毛铺水泥浆	1.06/221	1.63/223	1.76/251	2.83/234	S8
Y-2	24	不处理	0.79/100	1.32/100	1.24/100	2.07/100	S4
		刷毛铺砂浆	1.38/175	2.32/176	2.42/195	3.18/154	S6
		刷毛铺水泥浆	1.44/182	2.41/183	2.48/200	3.29/159	S8
	48	不处理	0.62/100	0.92/100	1.06/100	1.69/100	S2
		刷毛铺砂浆	1.23/198	2.06/224	2.21/208	2.74/162	S6
		刷毛铺水泥浆	1.30/210	2.16/235	2.25/212	2.82/167	S8
Y-3	24	不处理	0.48/100	1.63/100	1.47/100	2.57/100	S4
		刷毛铺砂浆	1.49/177	2.48/152	2.26/154	3.83/149	S6
		刷毛铺水泥浆	1.56/186	2.61/160	2.35/160	3.98/155	S8
	48	不处理	0.71/100	1.25/100	1.15/100	1.98/100	S4
		刷毛铺砂浆	1.32/186	2.33/186	2.01/175	3.52/178	S6
		刷毛铺水泥浆	1.39/196	2.39/191	2.05/178	3.62/183	S8

另外,还对上述三个配合比进行了层面不同处理方式的层面劈拉强度、层面抗剪强度及层面抗渗性能试验,试验结果列于表 4

从表 4 可以看出:

(1)无论间隔时间是 24h 还是 48h,与层面不处理相比,对层面处理后,层面的劈拉强度、抗剪强度及抗渗性能都有较大的提高,提高幅度在 149%~251%之间。

(2)间隔时间为 24h 的层面劈拉强度、层面抗剪强度及层面抗渗性能,均高于间隔时间为 48h 的层面劈拉强度、层面抗剪强度及层面抗渗性能

(3)间隔时间为 24h 的层面,刷毛铺砂浆、刷毛铺水泥浆的劈拉强度、抗剪强度及抗渗性能与整体接近,有些甚至略高于整体。间隔时间为 48h 的层面,刷毛铺砂浆、刷毛铺水泥浆的劈拉强度、抗剪强度及抗渗性能略低于整体

(4)从整体上看,刷毛铺水泥浆的层面性能略优于刷毛铺砂浆的层面性能

(2)碾压混凝土的层面劈拉强度及层面抗剪强度,随层面间隔时间的延长而降低,但其降低的幅度在不同的间隔时间内是不同的。在最初 8h 以内及 24~48h 之间,层面劈拉强度及层面抗剪强度降低的幅度均在 10% 左右,而在 8~24h,降低幅度在 35% 左右。层面抗渗性能也有类似的规律性

(3)与层面不处理比较,刷毛铺砂浆、刷毛铺水泥浆的层面劈拉强度、抗剪强度及抗渗性能都有较大提高。层面劈拉强度及层面抗剪强度的提高幅度在 149%~251% 之间。

(4)间隔 24h 的层面处理后劈拉强度、抗剪强度及抗渗性能与整体接近,有些甚至超过整体;间隔 48h 的层面处理后劈拉强度、抗剪强度及抗渗性能略低于整体。

(5)碾压混凝土的层面间隔时间应控制在混凝土的初凝时间以内,最好在 8h 以内。间隔时间超过初凝时间的层面应给予必要的处理

参 考 文 献

- 1 胶凝材料编写组. 胶凝材料学. 北京: 中国建筑工业出版社, 1980

3 结 论

(1)掺木钙外加剂碾压混凝土的初凝时间约为 12h,终凝时间约为 2h

(下转第 44 页)

A study on MLP-based Modelling of Mix Proportion of flexible materials

Chen Zhiyong Li Qingyun Sun Houcai
(Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan 430010)

Abstract In the research of mix proportion and characteristics of the flexible materials for the impervious core wall of the second stage cofferdam of the Three Gorge Project, a model of the relationships between the mix proportion and mechanical parameters (compression strength and tangential modulus) was set up by the multilayer feed-forward perceptron (MLP). Then, a series of graphs pertaining to the strength and the ratio of the strength to the modulus with different sets of mix proportion were obtained. The results of the verification experiments showed that the flexible material model obtained by the artificial neural network technology possesses concise and audio-visual characteristic and a higher accuracy, which can be applied in engineering practice.

Keywords construction materials; multilayer feed-forward perceptron (MLP); flexible materials mix proportion; compression strength; initial tangent modulus

(上接 31页)

Research on Bonding Characteristics of Bedding Joints of Roller Compacted Concrete for Three Gorges Project

Yang Huaquan Zhou Shouxian Kuang Yali
(Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan 430010)

Abstract Associating with the specific character of the Three Gorges Project's roller compacted concrete, test studies on the interval times for different bedding planes, the impermeability, split tensile strength and shear strength between bedding planes with different surface-treatment measures were conducted. The test results showed that so long as the interval times of bedding planes are controlled within the initial setting time, the characteristics of the bedding joints with sand grout or cement mortar after roughening surface by brushing approach those of overall RCC itself.

Keywords roller compacted concrete (RCC); bedding plane; shear strength; Three Gorges Project; mix proportion

(上接第 40页)

to the geologic conditions of soft clay foundation, by using the method combined physical model and mathematic model, the design of the soft clay foundation can be successfully resolved. And by means of field observation, using the information construction for the embankment, the stability of soft clay foundation and the control of residual settlement can be effectively achieved. By this way, it is needless to build a test section of expressway to gain necessary data at first and then to conduct foundation treatment design and construction.

Keywords expressway; stress-strain; soft clay foundation; centrifugal modeling; field observation; control of settlement