

碾压混凝土质量检验与控制(一)

王秉钧

(成都勘测设计研究院,成都,610072)

摘要 根据我国碾压混凝土筑坝技术的实际情况和特点,介绍了碾压混凝土的原材料、新拌混凝土压实质量的检测与控制及出机口、仓面钻孔取样质量的评定,同时介绍了已建工程铜街子和在建工程石板水碾压混凝土质量检测、控制与评定实例。

关键词 碾压混凝土 VC值 压实容重 初凝时间 率定 抽样检测

1 概况

碾压混凝土筑坝是70年代发展起来的筑坝技术上的一项重大革新,具有进度快、工期短、造价低的优点。碾压混凝土坝与普通混凝土坝不同之处是改变了传统的筑坝材料、施工方法、坝体断面设计和温度控制等。1979年初,碾压混凝土筑坝技术在我国引起重视并开始研究。在以后的十几年中,我国的碾压混凝土筑坝技术先后经历了室内和野外试验块研究、基础和挡墙、围堰等建筑物的修建,然后进入主体工程的修建阶段。此项技术我国起步较晚,历时也不长,但在全国范围内发展迅速。结合我国的实际情况,其特点主要表现在以下四方面:

1.1 发展迅速

我国碾压混凝土坝的修建,最早开始于1984年4月铜街子工程的牛石溪沟1#坝和1984年11月铜街子I~IV坝段。与此同时,福建的坑口坝也开始修建,继后天生桥、岩滩等碾压混凝土坝也开始施工。据目前不完全的统计,已建、在建和计划兴建的碾压混凝土坝工程达38座,占世界90余座的近40%,其中70m以上的高坝有16座;已建成的岩滩工程溢流坝段,最大坝高110m,是目前世界上最高的一座。铜街子工程将5个溢流坝

段联合一起施工,最大仓面7000m²,达到国际先进水平。岩滩工程日平均浇筑量达5000m³,创造了日浇筑碾压混凝土10619m³、日上升3.0m、月浇筑12.3×10⁴m³的纪录。

碾压混凝土筑坝技术的应用的范围也较广泛,不但用来修建混凝土重力坝,亦开始用来建造拱坝。已建成的贵州普定重力拱坝,高75m,坝顶弧长155m,碾压混凝土方量10.7×10⁴m³,是目前世界上采用碾压混凝土筑坝建造的最高的一座拱坝。

1.2 水泥用量低、粉煤灰掺量高。

国内碾压混凝土筑坝除少数工程外,胶凝材料中水泥用量大多在45~65kg/m³,其中,粉煤灰掺量75~105kg/m³,占胶凝材料总量的50%~70%。与日本的岛地川、玉川等坝相比较,具有水泥用量低、粉煤灰掺量高的特点。改善了碾压混凝土的和易性和层面粘结力等力学性能,并提高了碾压混凝土的抗渗性,尤其是突出了碾压混凝土的低热性能,对碾压混凝土坝的快速施工有重大意义。

由于节约了大量水泥并掺加较多的粉煤灰,经济效益也十分显著。

1.3 防渗方式创新

对于采用常态混凝土做坝体的上游面防渗层的“金包银”式碾压混凝土坝来说,已经取得较多的经验。这种防渗方式多用在较高及重要的碾压混凝土坝上,具有一定的优点。

但需同时完成碾压混凝土和常态混凝土两种不同类型混凝土的拌和、运输、碾压和振捣,往往限制了碾压混凝土的快速施工。我国已在一些碾压混凝土坝上采用了新的防渗方式。如坑口碾压混凝土坝在大仓面连续碾压施工的基础上,在坝体上游采用沥青沙浆防渗层外加混凝土预制板护面的新型防渗结构型式。这种防渗结构抗渗能力强,适应坝体的变形,可滞后碾压混凝土单独施工,且施工较简单。

我国普定重力拱坝、荣地、潘家口下池等坝,在上游迎水面部位浇筑二级配富胶凝材料碾压混凝土作为防渗面层,防渗层与内部碾压混凝土同时摊铺、碾压、平起上升。由于采用了富胶凝材料碾压混凝土防渗层,防渗层较密实,层间结合也较好,其效果与上游采用常态混凝土防渗层相近;福建龙门滩坝采用补偿收缩混凝土、水东坝采用混凝土预制块丙乳沙浆勾缝,一些工程正在研制和应用高分子材料薄膜防渗层及聚合物水泥沙浆防渗层等。

1.4 施工机械的配套及国产化

用于碾压混凝土筑坝的机械设备和质检仪器,我国目前均已能制造。国内生产振动碾的厂家及型号较多,通常采用洛阳建筑机械厂生产的 YZJ-10P 等型号的大型振动碾;设置坝体横缝用的切缝机经多次改进,夹江水工机械厂已生产我国第一台 HZQ-65 型振动切缝机,并成功地在铜街子工程溢流坝段碾压混凝土施工中使用。许多工程施工单位自制了混凝土刷毛机,并能小批量生产。葛洲坝工程局改装成功碾压混凝土摊铺机,并制造了我国第一台混凝土皮带运输机,在岩滩围堰碾压混凝土施工中使用。

在碾压混凝土施工中的质检仪器设备,国内已能批量生产,检测深度达 300~500mm 的核子水分密度仪和安装在振动碾上直接测定碾压混凝土密实度的压实计。许多单位均能生产沙含水量测定仪。作为国家

“七五”重点科技攻关成果的混凝土搅拌楼沙水补偿系统已研制成功,并在铜街子工程碾压混凝土施工中应用。

2 碾压混凝土筑坝的特点

2.1 用于碾压混凝土坝的混凝土是特干硬性的

单位水泥用量低,许多工程为了改善混凝土的性能,掺加粉煤灰,以增加胶凝材料量,改善混凝土的和易性、密实性和降低混凝土的发热量。骨料多采用三级配,最大粒径为 80mm。

碾压混凝土与常态混凝土比较,骨料含量多,胶凝浆量少,拌和物呈干松状态,不泌水,早期强度低,后期强度增长快,混凝土干缩变形小,具有较好的热学性能,水化速率低,混凝土的绝热温升值也低。

碾压混凝土无坍落度,其稠度用 VC 值表示。即在固定振动频率和振幅、固定压重下,拌和物振动出浆所需时间的秒数。试验结果表明,随着用水量的增加,VC 值将显著地降低。VC 值小于 10s,振动碾将下陷而不能正常的工作;VC 值大于 50s,则无法将碾压混凝土压密实,目前一些工程所使用的碾压混凝土,其 VC 值控制在 $15\pm 5s$ 左右。

碾压混凝土的容重、抗压强度、抗拉强度、弹模、抗渗性能和热学性能与碾压混凝土所使用的原材料、碾压混凝土配合比、施工质量关系十分密切。

影响碾压混凝土抗压强度有如下因素:

水胶比:碾压混凝土抗压强度随水胶比的增大而减小;

沙率:影响碾压混凝土的稠度,根据试验结果,选择最优沙率;

外加剂:掺加木钙等减水缓凝剂,减少用水量,相应减小水胶比,混凝土抗压强度提高;

粉煤灰:随粉煤灰掺量增加,改善了混凝土

土的和易性,早期强度有降低,后期强度增长率较快;

龄期:抗压强度随龄期的增长而增大。

碾压混凝土的抗渗性取决于水胶比、胶凝材料用量和压实质量,碾压混凝土的抗渗性测试值,室内试件的测值小于出机口混凝土的测值;二者又小于坝体混凝土取芯试件的测值。现场施工压实情况是碾压混凝土抗渗性关键因素之一。

碾压混凝土是分层摊铺、碾压上升的。层面的抗剪强度参数与坝体混凝土的抗压强度、粘结力、摩擦系数有关,其影响因素如下:碾压混凝土胶凝材料用量、骨料级配是否良好和适宜的 VC 值、混凝土的初凝时间、施工仓面骨料分离情况和层面污染情况等。应通过改进碾压混凝土配合比、施工工艺来提高抗剪断强度参数。

碾压混凝土的热学性能取决于所使用的水泥、粉煤灰的品质、用量;还取决于骨料的种类、品质和混凝土中的含水量、外界的温度等。碾压混凝土中由于掺用了大量的粉煤灰,其水化速率低、发热时间长、绝热温升值比常态混凝土低得多。

2.2 碾压混凝土坝施工

碾压混凝土具有“特干硬性”的特点,可以象土石坝施工那样分层摊铺、碾压上升,改变了常态混凝土坝传统的柱状间断浇筑方法。加之碾压混凝土单位水泥用量少,绝热温升低,简化了温度控制措施,取消了在常态混凝土坝内埋设冷却水管的方法,可以做到连续施工,大大加快了坝体混凝土浇筑速度。

碾压混凝土坝由于坝体断面不分纵缝,有些工程甚至不设横缝、少设横缝,施工仓面较大。其大小与碾压混凝土的拌和、运输、碾压层厚度和机械的施工能力有关。碾压层厚度通常采用 30~70cm,采用薄层连续上升时,层厚约 30cm,短间歇均匀上升时,层厚约 50~70cm。

全碾压混凝土坝多采用连续碾压上升工

艺流程。内部为碾压混凝土、外部为常态混凝土“金包银”式断面常采用短间歇均匀上升工艺流程。根据生产能力和工程施工准备情况,可采用连续、短间歇混合工艺流程。

碾压混凝土未初凝时,可连续碾压上升。初凝时间是碾压混凝土筑坝中的一个重要材料参数。胶凝材料中的水泥、粉煤灰品种、用量,施工期间外界的温度、湿度和风速,外加剂掺用情况均是初凝时间长短的影响因素。

3 碾压混凝土的质量检验与控制

3.1 原材料的检测与控制

3.1.1 检测项目

水泥:检定出厂水泥质量,检测项目为:细度、安定性、标准稠度、凝结时间、标号。验证水泥活性,检测项目为:标号,取样地点为拌和厂水泥库。水泥存放后受潮,强度降低,按规定降低标号使用。

粉煤灰:评定质量的稳定性,检测项目为:密度、细度、需水量比、烧失量等,取样地点为仓库。

细骨料:筛分厂生产控制调整配合比和调整用水量。检测项目为:沙的细度模数、含水率、密度、含泥量等,取样地点为拌和厂或筛分厂。

粗骨料:筛分厂生产控制调整配合比和调整用水量。检测项目为:大、中、小石的超逊径,小石的含水率,粘土、淤泥、细屑含量,取样地点为拌和厂或筛分厂。

外加剂:调整加入量,检测项目为有机物含量(或比重),取样地点为拌和厂。

水:检测符合拌制混凝土的水质,检测项目为:pH 值、总含盐量、硫酸根离子和氯离子含量,取样地点为水源。

3.1.2 碾压混凝土的原材料现场检测抽样次数按表 3 的规定进行

3.1.3 标准

水泥:按现行的国家标准进行,1992 年 9

月 28 日颁行的硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥 (GB175-92) 标准。普通硅酸盐水泥有如下标准;

普通硅酸盐水泥分 325、425、425R、525、525R、625、625R 7 个标号;

水泥中氧化镁的含量不得超过 5.0%，若安定性合格，可放宽到 6.0%；三氧化硫的含量不得超过 3.5%；烧失量不得大于 5.0%；细度，80 μm 方孔筛筛余不得超过 10.0%；凝结时间，初凝不得早于 45min，终凝不得迟于 10h；安定性，用沸煮法检验必须合格；强度，水泥标号按规定龄期的抗压强度和抗折强度来划分，各标号水泥的各龄期强度不得低于表 1 数值。

表 1 GB175-92 水泥国家标准 MPa

品 种	标 号	抗压强度		抗折强度	
		3d	28d	3d	28d
硅酸盐水泥	425R	22.0	42.5	4.0	6.5
	525	23.0	52.5	4.0	7.0
	525R	27.0	52.5	5.0	7.0
	625	28.0	62.5	5.0	8.0
	625R	32.0	62.5	5.5	8.0
	725R	37.0	72.5	6.0	8.5
	普通水泥	325	12.0	32.5	2.5
425		16.0	42.5	3.5	6.5
425R		21.0	42.5	4.0	6.5
525		22.0	52.5	4.0	7.0
525R		26.0	52.5	5.0	7.0
625		27.0	62.5	5.0	8.0
625R		31.0	62.5	5.5	8.0

水泥标准中，凡氧化镁、三氧化硫、初凝时间、安定性中的任一项不符合本标准规定或强度低于标号规定的指标时视为废品、凡细度、凝结时间、烧失量中任一项不符合标准规定或强度低于标号规定的指标时称为不合格品。

粉煤灰：原水电部颁行的《水工混凝土施工规范》SDJ-207-82 中，对非成品原状粉煤灰的品质指标作了如下的规定：

烧失量不得超过 12%；干灰含水量不得超过 1%；三氧化硫（水泥和粉煤灰总量中的）不得超过 3.5%；0.08mm 方孔筛筛余量

不得超过 12%。

在 1991 年 10 月 1 日颁行的《粉煤灰混凝土应用技术规范》GB146-90 中，对粉煤灰的质量指标和分级又作了较细致的规定，见表 2。同时规定干排法获得的粉煤灰其含水量不宜大于 1%，湿排法获得的粉煤灰，其质量应均匀。

表 2 粉煤灰质量指标的分级 %

粉煤灰等级	细度 (45 μm 方孔筛筛余)	烧失量	需水量比	三氧化硫含量
I	≤ 12	≤ 5	≤ 95	≤ 3
II	≤ 20	≤ 8	≤ 105	≤ 3
III	≤ 45	≤ 15	≤ 115	≤ 3

按规定，粉煤灰的质量检验，应符合各项质量指标规定。当有一项指标达不到规定要求时，应重新从同一批中加倍取样进行复验；仍达不到要求时，该批粉煤灰应作为不合格品或降级处理。

细骨料：必需严格控制细骨料的含水率和级配。

沙的含水率应小于 6%，当含水率变化超过 $\pm 0.5\%$ 时，应调整碾压混凝土的用水量。通常改进沙含水量的措施是在沙料场设置良好的排水设施，洗沙后有停放脱水时间，一般应大于 48h，使沙的表面含水率稳定。

沙的颗粒级配是用细度模数表示，一般在 2.0~3.0 之间。当沙的细度模数变化值超过 ± 0.2 时，应调整碾压混凝土的配合比。如采用人工砂，其微粒 $\leq 0.15\text{mm}$ 的颗粒含量宜控制在 15% 以内。

粗骨料：现场生产粗骨料主要控制超径和各级石子表面含水率，其控制标准为，超径为 0，逊径 $< 2\%$ ；石子表面含水率的波动应在 $\pm 0.2\%$ 之内。必要时，还应检测小石中的粘土、淤泥和细屑含量，其控制标准为 $< 1\%$ 。

外加剂：外加剂中的有机物含量、比重应符合标准（水工标准 SD108-83），否则调整加入量。

水:其标准为 $\text{pH} \geq 4$;
 总盐量:混凝土和水上钢筋混凝土
 $< 35\,000\text{mg/L}$,水位变化区和水上钢筋混凝土
 $< 5\,000\text{mg/L}$;

硫酸根离子含量 $< 2\,700\text{mg/L}$;
 氯离子含量 $< 300\text{mg/L}$;
 原材料的检测项目和抽样次数见表 3。

表 3 原材料的检测项目和抽样次数

名称	检测项目	取样地点	抽样数	检测目的	
水 泥	快速检定标号	拌和厂水泥库	每 200~400t 一次	验证水泥活性	
	细度、安定性、标准稠度、凝结时间、标号	水泥库	每 200~400t 一次	检定出厂水泥质量	
粉煤灰	比重、细重、需水量比、强度比、烧失量	仓 库	每批或每 200t 一次	检定活性、评定质量稳定性	
细 骨 料	细度模数	拌和厂、筛分厂	每天一次	筛分厂生产控制调整配合比	
	含水率	拌和厂	每 1~2h 一次	调整混凝土用水量	
	含泥量	拌和厂、筛分厂	必要时		
粗 骨 料	大、中、小石	超逊径	拌和厂、筛分厂	每班一次	筛分厂生产控制调整配合比
	小石	含水率	拌和厂	每 1~2h 一次	调整混凝土用水量
	小石	粘土、淤泥、细屑含量	拌和厂、筛分厂	必要时	
外加剂	有机物含量(或比重)	拌和厂	每班一次	调整加入量	

3.2 新拌混凝土的检测与控制

新拌混凝土的检测与控制是对出机口混凝土的质量进行检测与控制,包括对搅拌楼计量系统的检查、出机口混凝土均匀性检测和新拌混凝土的检测。

3.2.1 计量系统的检查

检查配比中各组成原材料的称量误差,应在搅拌楼刚安装好试运行期间和以后的运行期间进行定期检验与校正。其称量偏差检验标准如表 4 中所示。

表 4 配料称量偏差检验标准

材料名称	水	水泥、粉煤灰	粗、细骨料	外加剂
检验次数	1/月			
称量偏差/%	±1	±1	±2	±1

3.2.2 混凝土均匀性检测

碾压混凝土拌和物均匀性检测是在搅拌机卸料的首尾各取一个试样,每个试样不少于 30kg,并按下述标准进行评定:

当用洗分析法测定粗骨料含量时,两个样品的差值应小于 10%;

当用沙浆容重分析法测定沙浆容重时,两个样品的差值不应大于 30kg/m^3 。当均匀性达不到要求时,采用控制原材料称量,改进原材料投料顺序和增加拌和时间来解决。

3.2.3 新拌混凝土的检测

新拌混凝土质量检测一般从搅拌机口随机取样,检测项目和取样次数见表 5 规定。

表 5 新拌碾压混凝土的检测项目和取样次数

检测项目	取样次数	检测目的
VC 值	每 2h 一次	检测碾压混凝土的可碾性
容重及含气量	每班一次	调整外加剂用量
温度	每 2h 一次	冬季施工及温控措施要求
抗压强度	快速测定 每 300~500m ³ 碾压混凝土或每班 1~2 次 常规测定 每 300~500m ³ 碾压混凝土或每班 1~2 次	评定碾压混凝土质量及施工质量

注:1、气候条件(如大风、雨后、高温、需适当增加 VC 值的检测次数;2、体积大的坝体混凝土工程,检测抗压强度时取上限,反之取下限;3、采用加气剂时,容重及含气量每班应增加为 2~4 次。

碾压混凝土 VC 值波动范围,控制在±5s,当超出控制界限时,应调整混凝土的用水量。严格控制掺引气剂的混凝土的含气量,其变化范围为±1%。

3.3 碾压混凝土压实质量检测

3.3.1 检测项目和标准

碾压混凝土现场施工仓面检测项目和标准如表 6 中规定。

表 6 碾压混凝土现场施工仓面检测项目和标准

检测项目	控制标准
VC 值	对 VC 值大于 40s 或小于 5s 的混凝土应视为废料
压实容重	每个铺筑层测得的容重应有 80%,不小于设计值
骨料分离情况	采用人工或机械使粗细骨料摊铺均匀
两层铺料,一次碾压时的铺料间隔时间	不大于 1h
摊铺层厚度	厚度偏差 < 3cm
两个碾压层间隔时间(连续铺料)	不大于初凝时间
碾压层表面情况	无裂缝,无不规则,不均匀回弹,无塑性迹象

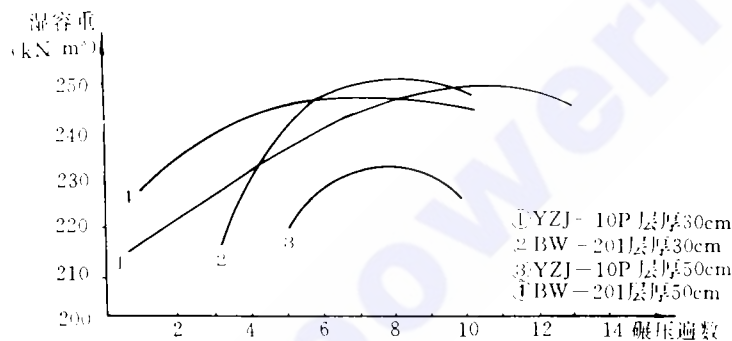
3.3.2 检测仪器和方法

碾压混凝土的压实容重检测采用表面型核子水分密度仪。每铺筑 100~200m² 碾压混凝土至少应有一个检测点,每层应有 3~5 个以上检测点,测试应在压实后 1h 内进行。

核子水分密度仪可以直接测得不同深度混凝土的压实容重。施工初期用核子水分密度仪测定碾压混凝土的碾压遍数和层厚与混凝土压实容重之间的关系,从而得出施工控制的最优碾压遍数。施工中对碾压遍数应作严格控制。岩滩工程碾压混凝土的碾压遍数、层厚与混凝土容重之间关系见附图所示。

核子水分密度仪应在现场用挖坑填沙法或标样法定。

挖坑填沙法:在压实的混凝土表面挖边长 50cm,深度不小于 30cm 的坑,将混凝土小心取出并称重量 W ,再将已知松散容重 γ 的干沙(标准沙)将坑填满,填入的沙勿受振动,并用直尺刮平沙坑顶面。由填沙重量 G 和沙容重 γ 可计算出沙坑体积 $V = G/\gamma$,所以混凝土压实容重为 W/V 。



附图 碾压遍数、层厚与混凝土容重关系

标样法:将施工使用的碾压混凝土拌合物制备 450mm³ 标准试块 3 块,试块应端正、平整,量测试件体积及质量并计算混凝土容重。在试件表面中点造一垂直的放射源杆插入孔,孔深 350~400mm,将仪器的放射源杆不扰动孔壁放至需要测试位置,每孔按 4 点测量碾压混凝土容重值,并求其平均值,计算测值平均值与试块容重差值,以 3 次差值的平均值对仪器校正。

碾压混凝土的压实容重也可采用谐波密度计和加速度计等方法检测。

3.3.3 碾压混凝土压实容重应达到配合比设计容重

实测压实容重低于设计容重的 5% 时,应增加碾压遍数,若还达不到要求时,应考虑是否配合比失控或振动碾的频率影响。

(待续)(收稿日期:19940425)

(下转第 82 页)

定电压,威胁电气设备运行的安全。调整主变分接头无济于事,请求电力系统中心调度所将大化电厂升压站的运行电压降低,他们又不同意。我们只好将降压主变改造为升压型式的主变使用,降压站母线运行电压偏高的问题方得到彻底解决。

7 负荷分析

1984年为施工准备阶段,主要的施工项目有:场地的“三通一平”,人工砂石料系统、供水系统、混凝土拌和系统和供电系统的安装,此阶段用电负荷较低,由巴马县小水电供电,1985年2月110kV降压站及其供电系统投入运行,3月厂坝主体工程正式开工,砂石、供水、混凝土拌和三大系统相继建成投产,电力负荷逐年增高。1989年3月完成厂坝基础开挖,掀起了厂坝混凝土浇筑的高潮。在此期间4台20t缆索起重机、两座 $4\times 3\text{m}^3$ 拌和楼及其配套的

两座冷冻楼、两座压风站、5台10/30t门机,1台30t电吊同时运转,所以1989~1990年既是混凝土工程高峰期,也是供电系统的高峰期。1991~1992年随着混凝土施工任务的完成,负荷曲线下降。

8 结 语

大型水电工程施工用电是二类负荷,以大电网为主电源,用小水电为备用电源,总降压站10kV侧对重要的设备和基坑排水机组、缆索起重机、门式起重机、压风站及混凝土拌和楼等专线供电,再从总降压站的位置上考虑避开厂坝与砂石场开挖放炮,就能满足其对可靠性的要求。施工投入的机械多,设备容量大,选择降压站主变时,按总同时系数求计算负荷即可。

(收稿日期:19941212)

(上接第36页)

Seepage Stability at Contacts between Earth-rockfill Dam and Foundation

Zhang Wenzhuo

(Kunming Hydroelectric Investigation and Design Research Institute)

Abstract Seepage stability at contacts between impervious earth-rockfill dam and foundation is of great importance. Based on experinees gained from actual project experiments, treatments and propositions for avoid seepage failure are presented.

Key Words earth-rockfill dam seepage stability contact

(上接第59页)

Quality Examination and Control of Roller Compacted Concrete

Wang Binjun

(Chengdu Hydroelectric Investigation and Design Research Institute)

Abstract In the light of actual conditions and features of dam construction technology with roller compacted concrete in China, the Paper presents raw material of roller compacted concrete, quality examination and control of newly mixed compacted concrete, concrete outlet of mixer, assessment on drilling samples from lift. Quality examination, control and assessment on RCC in Tongjiezi project and Shibanshui project under construction are given.

Key Words roller compacted concrete VC value compacted density initial setting time sample check