

碾压混凝土坝

施工技术与质量控制

徐玉杰 主编



黄河水利出版社

碾压混凝土坝

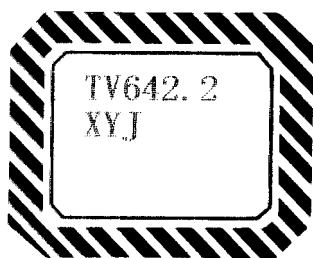
施工技术与质量控制

李士海 主编



碾压混凝土坝施工技术与质量控制

主 编 徐玉杰



黄河水利出版社

内 容 提 要

本书共分九章,主要内容包括碾压混凝土坝概述及强制性条文要求,材料的质量控制,碾压混凝土的配合比设计要求,碾压混凝土的施工试验基本要求,碾压混凝土筑坝的施工程序及工程要求,碾压混凝土的施工技术,碾压混凝土坝的施工质量控制和安全技术,碾压混凝土大坝施工的检测试验方法,碾压混凝土坝安全监测。

本书主要是作为修筑碾压混凝土坝工程的专业技术人员从事施工和控制质量的指导书,同时也可供从事水利水电建设人员、监理人员、建设管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

碾压混凝土坝施工技术与质量控制/徐玉杰主编. —郑州:
黄河水利出版社,2008.8

ISBN 978 - 7 - 80734 - 478 - 0

I. 碾… II. 徐… III. ①碾压土坝:混凝土坝—施工技术
②碾压土坝:混凝土坝—质量控制 IV TV642.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 122368 号

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhsclbs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:16.75

字数:400 千字

印数:1—1 000

版次:2008 年 8 月第 1 版

印次:2008 年 8 月第 1 次印刷

定价:45.00 元

前 言

随着我国水利水电建设的发展,碾压混凝土筑坝技术被很快推广并应用。为了满足碾压混凝土筑坝技术的需要,全国许多修建碾压混凝土坝的单位都在设计、施工、运行管理和科研等方面进行了研究,从生产实践、经验出发,认真总结、交流碾压混凝土筑坝技术。河南省水利第一工程局的同志根据几年的实践经验,不断创新和完善施工技术,并根据在施工过程中的实际操作心得,不断收集资料、总结、分析研究,发表了许多相关论文。在此基础上,结合全国各地的科研施工经验编写了本书,以促进碾压混凝土筑坝工程快速、经济的发展。

本书由徐玉杰任主编,龙振球任主审。参加编写的人员有姚党照、郭全中、申天印、李杰三、谢俊国。

由于编者水平有限,书中难免有不足之处,敬请读者体谅并提出宝贵意见。书中引用了不少各地经验,特向各单位和相关人员表示感谢并请各位同仁谅解!

编 者

2008年3月

目 录

前 言

第一章 碾压混凝土坝概述及强制性条文要求	(1)
第一节 碾压试验要求	(1)
第二节 碾压质量的控制要求	(3)
第三节 碾压层允许间隔时间的控制要求	(4)
第四节 碾压混凝土施工缝处理的质量控制要求	(6)
第五节 相对压实度控制的质量要求	(6)
第二章 材料的质量控制	(8)
第一节 碾压混凝土材料的基本要求	(8)
第二节 组成材料的质量控制	(8)
第三节 原材料的质量检验与控制	(11)
第三章 碾压混凝土的配合比设计要求	(28)
第一节 碾压混凝土配合比设计的基本要求	(28)
第二节 碾压混凝土配合比设计中基本参数的选取	(29)
第三节 碾压混凝土目前国内的实用配合比	(35)
第四节 中国的碾压混凝土配合比的现状及特点	(44)
第五节 粉煤灰在禹门河反调节水库大坝工程中的应用	(46)
第四章 碾压混凝土的施工试验基本要求	(48)
第一节 原材料试验的要求	(48)
第二节 碾压混凝土拌和物的试验	(53)
第五章 碾压混凝土筑坝的施工程序及工程要求	(59)
第一节 碾压混凝土筑坝的施工程序及施工工艺流程	(59)
第二节 各施工程序的具体要求	(59)
第三节 禹门河反调节水库施工程序的要点	(67)
第四节 碾压混凝土坝的工程要求和主要方法	(72)
第六章 碾压混凝土的施工技术	(74)
第一节 施工总体布置	(74)
第二节 碾压混凝土施工的仓面规划及仓面工艺设计	(90)
第三节 模板工艺的设计	(92)
第四节 钢筋工艺及预埋件工艺	(98)
第五节 碾压混凝土运输及入仓工艺的要求	(98)
第六节 碾压工艺	(101)
第七节 成缝工艺	(124)

第八节	缝面处理工艺	(124)
第九节	碾压混凝土的养生与防护	(126)
第十节	特殊气候条件下的施工	(127)
第七章	碾压混凝土坝的施工质量控制和安全技术	(133)
第一节	施工质检与质量管理	(133)
第二节	碾压混凝土坝各项工序的质量控制要求	(137)
第三节	全面质量管理	(156)
第四节	施工安全管理	(160)
第八章	碾压混凝土大坝施工的检测试验方法	(164)
第一节	碾压混凝土现场质量检测的要求和评定标准	(164)
第二节	表层型核子水分-密度仪现场测试的要求	(167)
第三节	深层型核子水分-密度仪现场测试的要求	(175)
第四节	碾压混凝土采用超声波法检测的技术要求	(180)
第五节	超声回弹综合法检测混凝土强度的技术要求	(190)
第六节	碾压混凝土压水试验和钻孔取心心样性能试验	(197)
第七节	碾压混凝土各项指标的检测技术	(211)
第八节	碾压混凝土的强度检验评定要求	(219)
第九章	碾压混凝土坝安全监测	(229)
第一节	安全监测的基本要求	(229)
第二节	安全监测施工组织设计	(230)
第三节	安全监测的质量控制	(235)
第四节	监测组织与仪器设备的管理	(256)
第五节	安全监测资料的整编与分析	(257)

第一章 碾压混凝土坝概述及 强制性条文要求

碾压混凝土筑坝技术是采用类似土石方填筑施工工艺,将干硬性混凝土用振动碾压实的一种新的混凝土施工技术。混凝土大坝施工采用这种技术,突破了传统的混凝土大坝柱状浇筑法对大坝浇筑速度的限制,具有施工程序简化、机械化程度高、缩短工期、节省投资等优点。

我国碾压混凝土筑坝技术具有低水泥用量、中胶凝材料、高掺粉煤灰,薄层摊铺,全断面碾压连续上升施工等特点。经过 20 多年来不断的实践研究和改进创新,形成了一整套碾压混凝土理论和施工技术体系。从采用二级配碾压混凝土自身防渗开始,特别是工程施工中变态混凝土的应用和施工工艺及技术、材料的不断改进,其各项物理力学指标均可达到设计要求。对垂直、水平及其他方向的混凝土心样检查,压水试验的透水率均小于 1 Lu,抗剪断试验的破坏面不在层间结合面,观测仪器的数值均证实大坝运行正常,坝体渗漏、变形值与常态混凝土均相同。这些实践均有力地推动了我国碾压混凝土筑坝技术的不断应用和发展。

碾压混凝土筑坝技术具有缩短工期、降低成本、节约水泥等优点,因而得以大规模的推广和应用。为了让更多的建设、设计、施工、管理等单位掌握碾压混凝土筑坝技术,力争碾压混凝土设备国产化:如检测设备的表面型核子水分密度仪,分别适用于不同地区的检测;在不同地域和不同季节施工的外加剂、拌和设备、冲毛装置、切缝机等。

碾压混凝土筑坝技术具有快速、机械化使用程度高的优势,相对于土石坝等围堰更安全,便于过水、快速恢复基坑施工且占地面积小等。其本身具有临时挡水发电,提前发挥效益的作用。

碾压混凝土筑坝技术是基于土石坝施工方法的一种干硬性混凝土坝的施工方法。通过采用振动碾对坍落度为零的干硬性混凝土,在坝体的铺筑碾压而成型的工艺,具有温控简单、施工速度快等优点。

我国碾压混凝土筑坝技术的发展与美国、日本等国家有较大的差别,主要特点是高掺粉煤灰、中胶凝材料、低水泥用量、不设或少设横缝。采用单防渗或采用二级配碾压混凝土防渗达到简化坝体结构和温控措施,创造了全面连续施工条件,使碾压混凝土坝得到快速发展并成为重点推广的坝型之一,且形成了具有中国特色的碾压混凝土筑坝技术。为此,在碾压混凝土坝的施工过程中,必须重视其在施工中的要求。

第一节 碾压试验要求

在进行混凝土碾压过程中,其基本要求如下所述。

(1) 验证碾压混凝土配合比的合理性。由于水利水电工程处于不同的环境,相应每个工程所选用的原材料都有差异。虽然在配合比设计和室内试验成果方面有一些规律可以借

鉴,但与现场大批量混凝土的施工碾压情况相比,代表性相对有出入,不一定能满足设计要求。故只有通过现场试验验证配合比的可拌性、可碾性、和易性、抗分离性,并于现场进行取样加工试验来验证各种力学指标是否满足设计要求及施工参数,以便指导现场施工。

(2) 检验原材料生产系统的生产能力是否满足施工组织设计、浇筑计划,生产工艺是否合理;开采、加工、倒运、仓储等环节是否满足原材料的要求;并检验原材料的生产产品质量是否达到有关规范和配合比设计要求。如粗、细骨料质量指标应符合《水工混凝土施工规范》(SDJ207—82)的规定,砂料宜质地坚硬、级配良好,人工砂的细度模数宜为 2.2 ~ 2.9。石粉($D \leq 0.16 \text{ mm}$)的含量宜控制在 10% ~ 20%,对人工粗骨料的石粉包裹情况现场应给予特别关注。而对于天然砂,其含泥量($D \leq 0.08 \text{ mm}$)应不大于 5%,细度模数宜为 2.0 ~ 3.0。

(3) 混凝土拌和系统的运转情况。应对称量设备和含水率测定装置进行率定,特别是投料顺序、拌和均匀性、拌和机的灰浆黏附情况及拌和能力。称量系统除检查设备本身的精度,还要注意检查实际配料的效果。含水率的测定装置应快速、准确地测出细骨料的含水率,以便随机调整拌和时的用水量,以保证混凝土拌和物的工作度和水胶比。拌和系统的投料顺序应依据现场工程的具体情况和特点而定。首先要初步拟定投料顺序,再通过试验调整确定。拌和时间是决定混凝土质量的主要因素,拌和时间短,混凝土拌和物均匀性差,变异性很大;拌和时间过长,粗细骨料的研磨也会造成细度模数的变化,对混凝土产生不利影响。为此,拌和时间应根据具体拌和设备 and 拌和物情况通过现场试验确定。总之,验证混凝土生产系统在保证质量情况下的生产力,有利于调整施工计划,合理布置施工仓面,配置运输车辆以及大坝总体施工进度安排。

(4) 对混凝土运输系统的验证。根据国内外许多工程实践,混凝土运输必须根据其平仓方法、平仓机具、碾压设备等运行可靠性和配套性来确定。碾压混凝土运输采用自卸卡车、皮带运输机、负压溜槽、缆机、门机、塔机也可作为辅助运输工具。各种运输工具都应注重其布置位置和运输道路的平整度及入仓前车轮带水带泥的情况,均要适合入仓口结构和封堵要求。对于皮带输送机运输时的灰浆损失率应控制在 0.2% 之内,其运转的次数、骨料分离、清扫装置、储料斗容积、转料斗起拱情况等,也需要现场验证;负压溜槽的坡度和拟定的防分离措施也应通过现场试验进行调整确定。平仓一般采用平层通仓法、斜层平推法和台阶法三种。其基本要求是保持层厚均匀,这是卸料和平仓工序现场试验研究的重点,也可在自卸汽车上增改料器,使得卸料摊铺合成一个工序,改善骨料分离,提高工效。用于平仓、碾压的机具设备国内外品种很多,如 PZ - 50 - II 平仓机、小松平仓机、由普通推土机、湿地推土机改装的平仓机等。振动碾的类型有轮胎驱动型、两轮振动型、双联振动型及小型振动碾,如德国产的 BW 系列有 BW - 75S、BW - 95S、BW - 200、BW - 201 及 BW - 202 等;洛阳产的 YZ 系列有 YZ - 10P、YZJ - 10P、YZS - 60P 及 YZJ - 10B 等。现场试验应根据具体工程特点、仓面大小及生产能力的大小,对碾压混凝土的运输、摊铺、碾压性能进行合理配套性检验,并根据实际情况进行调整,使其相互匹配,直到达到最佳工效。

(5) 通过碾压试验,确定适合本工程的合理施工工艺参数,如碾压层厚度及碾压遍数等。因为碾压混凝土的分层厚度除受层面间隔时间、混凝土生产运输摊铺能力影响,最主要的是要适应振动碾的性能,并与振动碾的自重、激振力、振频振幅及碾压速度直接相关,也就是说,碾压层越厚,所需的振动压实能量越大。例如,自重 7 t 的碾压机,振动力大于 10 t,其

振频在 40 Hz, 振幅为 0.8 m, 碾压速度为 1 ~ 2 m/h 时, 其单位面积振实能量可达到 $20 \text{ kg} \cdot \text{cm}/\text{cm}^2$, 振实厚度可达到 50 ~ 70 cm; 当振实能量达到 $20 \text{ kg} \cdot \text{cm}/\text{cm}^2$ 时, 其振实厚度小于 30 cm。在国内的工程中, 摊铺厚度一般为 35 ~ 40 cm, 压实厚度为 30 ~ 35 cm。

碾压遍数与振动设备有着直接的联系。在配合比一定时, 振动碾的激振力增大或始终使混凝土接近共振状态的碾压, 则振实能量会提高, 振实时间会减少。如在同一配合比、同一层厚的情况下, 用 BW-200 型振动碾只需要碾压 6 ~ 8 遍, 而用 BW-75S 型振动碾, 则要碾压 20 ~ 24 遍。若采用同一振动碾, 配合比不同时, 混凝土内部的游离浆液体数量、浆体的内聚力、浆体与砂之间的黏附力、骨料之间的内摩阻力与机械的咬合力不同, 振动压实能量传递与耗散也有不同。因配合比、现场气候的变化, 造成 VC^① 值的变化, 振动时间也发生变化。VC 值越小, 则表示振动的的时间越短, 碾压遍数就越少。但 VC 值过小, 配合比的用水量增加, 干缩率增大, 影响混凝土的强度及抗渗性能, 也影响振动碾的正常行走。

在设备、振频和碾压速度一定时, 振实碾压混凝土所需要的碾压遍数是 VC 值的函数。该函数是一个分段连续的非线性函数。VC 值可分 8 s 以下、8 ~ 25 s、26 s 以上三个阶段。在 8 ~ 25 s 时, 碾压遍数与 VC 值之间接近线性函数关系。

针对具体的工程特点和气候条件, VC 值和碾压厚度、碾压遍数在现场试验时均需调整确定。

(6) 层间结合问题一直是碾压混凝土施工质量的关键问题。不同的工程和不同的气候条件会出现不同的结果。在现场试验时, 应选择不同的试验块区域, 分别对不同层面处理方法进行试验研究。一是层面允许直接铺筑的情况, 要特别注意层面的风干现象; 二是加垫层拌和物后允许直接铺筑的情况; 三是形成冷缝处理后, 再铺筑的情况。试块达到龄期后, 应现场取样进行外观检查和室内力学试验, 确定层间结合强度是否满足设计要求。

(7) 随着碾压混凝土筑坝技术的普及和在水利水电工程的广泛应用, 为了提高碾压混凝土的工程质量, 对缺少碾压混凝土施工经验的业主、施工单位和监理单位, 需要进行岗位培训。碾压现场混凝土试验有利于提高业主、监理单位、施工单位的施工技术水平和管理水平。因现场碾压试验关系到碾压混凝土工程施工各个环节的检验和各道工艺、各项参数的选定, 直接影响到整个工程建设的成效。

第二节 碾压质量的控制要求

碾压混凝土碾压质量的控制, 应注意以下要求:

每层碾压作业后, 应及时按网格布点检测混凝土的压实容重, 所测容重低于规定指标时, 应立即重复检测并查找原因, 采取处理措施。

对于碾压混凝土来讲, 容重是设计的基本要求, 它直接关系到大坝的安全。只有达到或接近理论容重, 混凝土才能具备相应的力学强度, 满足结构的需要。因此, 压实容重的检测是评定碾压混凝土的主要指标。

关于现场容重的检测, 《水工碾压混凝土施工规范》(DL/T5112—2000) 对测点布置作

① VC 值, 将一定质量的拌和物装入固定在标准振动台上的标准铁筒内, 表面加规定压重, 振至表面冷浆所需的时间(s)。

出了具体的规定。即每铺筑 $100 \sim 200 \text{ m}^2$ 至少有一个检测点,每层应有 3 个以上的检测点。同时,《水利水电基本建设工程单元工程质量等级评定标准(八)》规定,每 100 m^2 碾压层至少应有一个检测点用反向散射法测量,每个碾压层应有 3 个以上的检测点用透射法测量。

反向散射法测定容重,受表面平整度的影响很大,测定深度为 $5 \sim 7.5 \text{ cm}$,其测量误差大于透射法测量。但由于反向散射法无需造孔,测量速度快,在经过现场试验论证、确定表面测量与整个碾压层容重关系后,用其测量结果作为大面积检测参考数据还是可取的。

用透射法测定容重,其测量精度较高,测量深度也较深,但需造孔,因此每个测点可做四个象限测量,以扩大测量范围。透射法对碾压混凝土容重的测量结果作为表面型核子水分密度仪现场压实质量评定的依据。

通过现场检测,可以提供各层各个高程的压实成果。完整记录各层各高程的容重,有利于整体施工质量的评定。当现场检测的容重不符合设计要求时,应在分析其原因后,重新检测摊铺厚度是否超过规定、拌和物是否均匀、原材料有无变化、振动碾性能及振频激振力是否有问题等。如果有某一项达不到规定的要求,就应针对不同的原因,采取不同的措施确保碾压密实。

故现场容重的检测,直接关系到碾压混凝土是否密实,是否达到设计要求,是否具备碾压混凝土相应的力学强度。

第三节 碾压层允许间隔时间的控制要求

连续上升铺筑的碾压混凝土层间允许间隔时间(即从下层混凝土拌和加水时起到上层混凝土压实完毕为止),应控制在混凝土初凝时间以内。在我国已建碾压混凝土工程中,采用连续上升铺筑工艺较多,大大提高了碾压混凝土的施工速度,缩短了工期,显示出其优越性能。为了确保混凝土层间的结合,使碾压混凝土工程形成一个整体结构,必须对施工层间的间隔时间进行严格的控制,层间的间隔时间控制标准直接关系到层间结合质量的好坏。根据国内外的经验,一般碾压混凝土层间的间隔时间按混凝土初凝时间来控制。

混凝土初凝时间:初凝标志着水泥浆结构由凝聚结构向凝聚-结晶结构的转变。凝聚-结晶结构破坏后不再有触变复原性质。施工现场由于受环境、温度、湿度的变化和水分蒸发等因素的影响,胶凝材料的水化速度和拌和物的水胶比都发生变化。对大中型水利水电工程,一般先进行不同配合比室内初凝时间的测定,再对现场不同气候条件、不同施工环境进行现场初凝时间的测定。用现场测定的不同情况下的初凝时间作为施工时的控制指标,初凝时间一般利用现场初凝时间测定仪进行测定,具体步骤如下:

(1)在拌制混凝土时,按混凝土中的砂浆配合比材料,拌和砂浆试样 50 L (其中砂子事先筛除粒径大于 5 mm 的石子)。

(2)现场平仓后的碾压混凝土,在某一预定位置挖一不小于 $40 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}$ 、深度 $25 \sim 30 \text{ cm}$ 的坑,将砂浆试样倒于坑内,此时试样表面应略高于混凝土面。

(3)在砂浆试样周围设置标记,干砂浆试样表面覆盖一层尼龙编织袋,让砂浆与混凝土拌和物同时承受碾压并一起养护。注意碾压过程中不要把石子带进砂浆试样中,碾压完毕后除去尼龙编织袋。

(4)预先根据室内初凝时间测定结果,计算初凝时间对应的贯入压力,减去测定仪滑杆

重量后即为现场实施时的附加压重。

(5) 现场施测时,每次布置 3 个点,以实施附加压重的贯入深度平均值作为测试结果。

(6) 从碾压混凝土拌和加水至贯入深度为 25 mm 所经历的时间,即为混凝土拌和物的初凝时间。当现场初凝时间测定仪贯入深度小于 25 mm 时,说明混凝土已经超过初凝。相反,贯入深度大于 25 mm 时,说明混凝土拌和物未初凝。

例如,岩滩水电站采用的施工配合比现场测试结果如表 1-1 所示。

表 1-1 岩滩水电站碾压混凝土初凝时间现场测试结果

C	F	W	s/a	外加剂掺量 (%)		拌和加水至碾压完成经历时间(t)	估计风速	试样温度加权平均值 (℃)	实测初凝时间 (h:min)	成熟度
				TF	柠檬酸					
	kg/m ³		%							
35	117	90	33.8	0.2	0	2.00	1~2 级	30.1	4:40	141
35	117	90	33.8	0.2	0	1.67	3~4 级	26.8	4:16	114
35	117	90	33.8	0.2	0	4.25	4 级	24.6	6:15	154
35	117	90	33.8	0.2	0.03	5.00	1~2 级	28.2	7:50	221

从表 1-1 可以看出,同一种混凝土配合比在不同强度、不同风速的条件下,初凝时间是不同的,成熟度也是不一致的。如果超过初凝时间,就不能保证层间良好的黏结。

目前,我国碾压混凝土采用的是高掺粉煤灰技术,由于粉煤灰不像水泥熟料具有迅速水化的性能,水泥-粉煤灰浆体与稠度相同的水泥浆比较,凝聚结构维持时间较长,由凝聚结构向结晶结构转变慢,相应浆体初凝时间较长,在混凝土配合比中掺入缓凝剂也可以延缓浆体结构的转变,延长初凝的时间,如河南省洛宁县黄河一级支流洛河干流上的禹门河反调节水库工程,在进行碾压混凝土的施工中做了一些试验工作,结论为当碾压混凝土连续铺筑的层间间隔时间小于混凝土初凝时间时,层面抗剪强度和抗拉强度与碾压混凝土层内的指标相差不大,但随着层间间隔时间的延长,碾压混凝土层面的抗剪强度及抗拉强度随之降低。层间间隔时间达到或超过初凝时间,层面的抗剪强度降低约 10%,抗拉强度降低约 20%,抗渗性低于碾压混凝土本身的 50%。

目前,在我国连续铺筑的碾压混凝土工程中,除采用上述初凝混凝土时间作为直接控制指标,还增加了一个加垫层铺筑允许时间,即超过直接允许铺筑时间时,可先在层面上铺垫层拌和物,再铺上一层混凝土。垫层拌和物可采用水泥浆、砂浆、细骨料混凝土等。

碾压混凝土的层面处理,一直是该项技术发展过程中研究的重点,为了保证层面更好的结合,保证工程的整体性,发挥连续上升的优势,在碾压混凝土的实践中,摸索总结了大量的经验。现在层面处理技术日趋成熟,许多工程层面处理质量达到较高的水平,如河南省洛宁县黄河一级支流洛河干流上的禹门河反调节水库工程在层面处理时,由于对混凝土进行了终凝前的时间检测,在终凝前采用一般的具有一定压力的自制水枪对其表面进行冲毛处理,处理标准以露出砂粒骨料为准,冲毛效果较好,省工省时,得到了监理单位的好评。

第四节 碾压混凝土施工缝处理的质量控制要求

对碾压混凝土的施工缝及冷缝必须进行层面处理,处理合格后方可进行施工。

施工缝是根据施工要求而设置的缝,包括水平缝和垂直缝。冷缝是由于停工及不能连续施工而形成的缝,连续上升铺筑混凝土的层面,超过允许铺筑时间时,其层面也按冷缝处理。缝面在间隔期间应保持湿润,做好养护。

缝面的处理可借鉴常规混凝土的处理方法:即首先去掉混凝土表面乳皮,后采用刷毛、冲洗等方法清除缝面的浮浆及松动骨料(以露出砂粒、小石为准),其目的是为了增大混凝土表面的粗糙率,提高层面的黏结能力。冲洗和刷毛时间可根据施工季节、混凝土强度、设备性能等因素,经现场试验情况确定。一般可在混凝土初凝以后、终凝以前进行,过早的冲洗不仅造成混凝土的损失,而且损害混凝土的质量。层面清理合格后,先均匀刮铺 1.0 ~ 1.5 cm 厚的砂浆层(砂浆强度等级比混凝土高一级),然后立即在其上摊铺混凝土,并应在砂浆初凝之前碾压完毕,防止砂浆失水干燥或初凝。

施工缝和冷缝只要认真处理、工艺正确、层面混凝土不受损害,可以达到较好的效果,并能提高黏结性能和抗渗性能。

第五节 相对压实度控制的质量要求

相对压实度即是碾压混凝土经过振动压实的容重与设计理论容重之比。相对压实度在一定范围内随着碾压遍数增加而增加,直到接近理论容重,其后,再增加碾压遍数会起到相反的作用。

碾压混凝土必须达到一定的压实度,才能确保工程结构设计所要求的抗压、抗拉、抗剪、抗渗和弹性模量等方面的基本要求,才能具备其力学性能,其相对压实度在一定的碾压遍数情况下才可以达到《水工碾压混凝土施工规范》(DL/T5112—2000)中提出的 97% ~ 98% 的要求,如表 1-2、表 1-3、表 1-4 所示。

表 1-2 岩滩水电站碾压混凝土围堰现场相对压实度测试结果

碾压遍数	相对压实度(%)						
	1	2	3	4	5	6	平均值
1	94.92	92.15	95.37	99.07	95.65		95.43
5	97.56	97.62	96.49	99.75	99.43	98.63	98.25
9	98.87		99.35	98.18	99.95	99.43	99.16
13		99.11	97.58	99.51	98.06	98.14	98.48

表 1-3 坑口碾压混凝土坝体容重检测与统计分析

配合比 代号	配合比所用 砂的种类	设计配合比 容重 (kg/m ³)	实测平均容重 (kg/m ³)					相对压实度 (%)
			散射法		透射法		平均值	
			测次	表层(7.5 cm)	测次	浅层(3.0 cm)		
1	人工砂	2 377	1 458	2 352.53	160	2 311.2	2 331.87	98.1
2	天然砂	2 373	703	2 350.83	20	2 314.6	2 332.72	98.3

表 1-4 禹门河反调节水库工程碾压混凝土碾压试验成果 (单位:kg/m³)

三级配碾压混凝土压实容重检测										
遍数	实测值						最大值	最小值	平均值	压实度(%)
4 遍	2 341	2 329	2 377	2 379	2 350	2 364	2 379	2 329	2 354	96.9
6 遍	2 397	2 422	2 441	2 397	2 428	2 410	2 441	2 397	2 419	99.2
8 遍	2 389	2 423	2 442	2 422	2 431	2 440	2 442	2 389	2 415	99.8
二级配碾压混凝土压实容重检测										
遍数	实测值						最大值	最小值	平均值	压实度(%)
6 遍	2 384	2 383	2 441	2 418	2 402	2 413	2 441	2 383	2 262	98.9
8 遍	2 425	2 410	2 445	2 420	2 435	2 408	2 445	2 408	2 426	99.7
碾压混凝土与变态混凝土接触部位压实容重检测										
遍数	实测值		压实度(%)		级配					
14 遍	2 386		98.0		三级配					
16 遍	2 402		98.8		二级配					
18 遍	2 389		98.3		二级配					

第二章 材料的质量控制

为了有效地进行碾压混凝土质量控制,保证碾压混凝土的质量符合要求,首先须控制所用原材料的质量及其变异,控制碾压混凝土的配合比,为混凝土的生产控制提供相关组成材料的各种参数。现将各组成材料的质量与控制、碾压混凝土的配合比确定等有关质量初步控制的内容介绍如下。

第一节 碾压混凝土材料的基本要求

- (1) 凡符合国家标准的硅酸盐系列水泥均可用于碾压混凝土。
- (2) 水泥品种及标号应与掺合料的品质掺量一起经技术经济论证后确定。
- (3) 碾压混凝土施工所用水泥宜定厂、定品种供应,不宜在施工中途更换水泥厂家和水泥品种。
- (4) 碾压混凝土施工前必须进行掺合料料源的调查研究和品质试验。
- (5) 粉煤灰及火山灰质材料均可作为碾压混凝土的掺合料,应选用符合《粉煤灰混凝土应用技术标准》(GBJ146—90)质量指标的粉煤灰,不符合上述指标的粉煤灰应经过试验论证后选用。
- (6) 人工骨料及天然骨料均可用于碾压混凝土,如两者经济指标相差不大,宜优先选用人工骨料。
- (7) 不得使用刚筛选的骨料拌制碾压混凝土。细骨料在成品料厂堆放时间应不少于 48 h,若细骨料含水量大于 6%,则应采取脱水措施。
- (8) 细骨料的细度模数宜控制在 2.5 ~ 3.0。使用人工砂时,砂中石粉($d \leq 0.16 \text{ mm}$ 的颗粒)含量以 8% ~ 17% 为宜,超过 17% 时,应经试验论证;使用天然砂时,可经试验论证后掺入适量惰性掺合料。
- (9) 粗骨料最大粒径以不大于 80 mm 为宜,使用最大粒径超过 80 mm 的粗骨料时,应进行技术经济论证,不宜采用间断级配。
- (10) 碾压混凝土中应掺用外加剂,必须进行外加剂对水泥和掺合料的适应性试验。

第二节 组成材料的质量控制

(1) 配制碾压混凝土所用的硅酸盐水泥应分别符合现行国家标准及标准的名称,当采用其他品种的水泥时,应符合国家现行有关标准的规定。

(2) 为保证碾压混凝土质量符合要求,并且有要求的耐久性,应根据碾压混凝土工程的特点和所处的环境以及设计、施工的有关要求,并根据不同品种水泥的性质,选用适当品种的水泥。配制碾压混凝土时,除应选用适当品种的水泥,还应根据配制的混凝土强度等级,选用适当标号的水泥,以使在既满足混凝土强度要求,又符合为满足耐久性所规定的最大水

灰比、最小水泥用量要求的前提下,减少水泥用量,达到技术可行、经济合理的目的。

考虑到生产控制的需要及目前水泥生产情况,规定了对所有水泥应检验其安定性和强度。当对水泥质量或质量证明书有疑问时,还应按国家标准的有关规定,检查其他性能,经检验合格后,方可使用。

为控制生产碾压混凝土所用水泥的质量,规定了应按不同品种、标号及牌号按批分别将其储存在未用的仓罐或水泥库内,如发生变潮、结块等品质改变现象或出厂超过三个月(快硬硅酸盐水泥为一个月)时,使用前应复验其质量指标,并按复检结果确定使用情况。

碾压混凝土所用的水泥应符合下列标准:

(1)碾压混凝土中由于掺用较大比例的掺合料,使混凝土的绝热温升降低。故目前国内外多使用硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥,但也不乏使用粉煤灰硅酸盐水泥(如日本)和矿渣硅酸盐水泥的。由于掺合料需与硅酸盐水泥的水化产物 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 发生二次反应才能起胶凝作用,故规定碾压混凝土所用的水泥为硅酸盐系列水泥,即硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥以及硅酸盐水泥等。

(2)水泥标号的高低可通过调整每立方米混凝土中的水泥用量和掺合料比例来满足混凝土性能的设计要求。当工程附近有充足、优质的掺合料时,可优先选用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥,同时掺用较大比例的掺合料。反之,可选用掺混合料的水泥,相应减少掺合料的比例。水泥的选用不仅仅是技术决策,也应包括经济比较。

(3)碾压混凝土施工对掺合料与外加剂的选择均较严格,而两者的选用均以一定的厂家生产的水泥品种及标号为依据。配合比及施工工艺参数也根据此条件选定,中途易厂可能带来施工质量事故。

(4)碾压混凝土具有水泥用量少、水化热低、可连续铺筑等优点。这些优点能否充分发挥很大程度决定于掺合料的来源与品质。因此,对掺合料料源的调查与试验研究,应当在方案选定以前有初步结论,不宜先定方案,后选掺合料。

碾压混凝土所用的骨料应符合下列有关标准:

(1)使用人工骨料比使用天然骨料拌制出的碾压混凝土抗分离性能好,可碾性好,混凝土的抗压强度较高。

(2)碾压混凝土用水量少,对砂石料的含水量极为敏感,故严格规定不得使用刚筛洗的骨料拌制混凝土。规定砂子在成品料场的堆放期限,目的在于让砂子有一定的脱水时间,并在编制施工组织设计时,为考虑成品料仓库的大小与数量提供依据。

(3)根据国内外施工资料,细骨料的细度模数宜控制在 $2.2 \sim 3.0$ 。石粉在碾压混凝土中起到微骨料的作用,对节约水泥、降低水化热、改善混凝土性能都有明显效果。坑口、天生桥二级、岩滩等工程都证明了这一点。武汉大学水利水电学院、成都勘测设计院科研所、广西水科所等单位也都做过这类试验研究,认为石粉掺量可达 $17\% \sim 20\%$ 。但从人工砂生产工艺来说,石粉掺量定在 $8\% \sim 17\%$ 是比较恰当的。

在天然砂中掺用部分非活性细颗粒,对改善混凝土性能有好处,观音阁水电站混凝土中掺用尾矿粉收到了一定效果。

(4)增大骨料最大粒径对节约水泥、降低混凝土绝热温升等有利,但粗骨料最大粒径的增大,会使碾压混凝土分离趋于严重。日本三川坝采用最大粒径 150 mm 的四级配骨料,减少单位水泥用量,没有取得预期效果,反而加剧了混凝土的分离。根据国内目前的施工条

件,规定最大骨料粒径宜不大于 80 mm。国外资料表明,间断级配碾压混凝土分离严重,故不宜使用。

骨料的选用除符合有关标准及碾压混凝土的质量要求,还应适应混凝土的输送、浇筑工艺及浇筑结构构件截面最小尺寸的有关规定。

正规采集场是经过资源勘探试验验证,骨料质量符合国家有关标准规定,能批量生产和供应骨料生产单位。来自正规生产采集场的骨料应附有质量证明书。考虑到采集场大量堆积骨料,在装卸、运输过程及堆存时造成的粒径级配变异、含泥量增大在所难免,故规定,当对骨料质量或质量证明书有疑问时,应按批检验其颗粒级配、含泥量及粗骨料的针片状颗粒含量。

对无质量证明书或其他来源的骨料,因其质量未经系统检验验证。故规定,应按批检验其颗粒级配、含泥量及粗骨料的针片状颗粒含量,必要时还应检验其他质量标准。

海砂中的氯盐含量较高,为控制混凝土中氯离子的总含量,故规定按批检验海砂中的氯盐含量,以便据以计算,控制混凝土中氯离子的总量。

骨料质量的检验方法应按 JGJ52、JGJ53 及 JBJ205 等规定进行。对含有活性二氧化硅、白云石灰灰岩等可引起碱-骨料反应成分的骨料,应按有关标准的规定进行碱-骨料反应试验,经验证确认对混凝土质量无有害影响时,方可使用。

骨料在生产、采集、运输与储存过程中,容易混入一些影响碾压混凝土强度、耐久性的有害物质(如方解石、煅烧白云石、石灰、煤粉、炉渣、矿渣、钢渣或其他化工原料等),为保证碾压混凝土质量,故规定严禁混入影响碾压混凝土的有害物质。

细骨料细度模数及粗骨料粒径级配的变异,显著影响碾压混凝土拌和物的和易性,为保证混凝土拌和物的质量,应按品种、规格分别堆放,不得混杂。并应在装卸及堆存时采取措施(如减小堆料高度、采用回转卸料器等),使骨料颗粒级配均匀。

符合标准的生活用水对碾压混凝土无有害性作用,故凡符合国家标准的生活用水可以用于拌制各种混凝土。当用不符合国家标准的生活用水或对水质有疑问时,应按有关标准采用水样进行检验,确认合格后方可使用。

为改善混凝土某些性能或节约水泥,在碾压混凝土中可掺入水硬性或填充性掺合料,其质量应符合有关标准的规定。当掺用尚无质量标准的掺合料时,其烧失量及有害物质含量等质量指标应按有关标准通过试验,确认符合混凝土质量要求时,方可使用。

选用的掺合料,应能达到预定改善混凝土性能或在满足改善性能前提下取代部分水泥的目的,其掺量应通过试验确定。

一般说来,掺用大量掺合料以取代部分水泥,将对碾压混凝土强度有所影响,故应符合有关标准关于最大取代水泥量的规定。当掺用尚无标准规定最大取代水泥限量的掺合料时,应经系统试验验证,确认混凝土质量符合要求,以确定最大取代水泥量。

国内外碾压混凝土施工中多掺用粉煤灰。国内漫湾水电站和大广坝的试验研究资料均表明,火山灰质材料(如火山灰、凝灰岩等)也可作为碾压混凝土的掺合料。粉煤灰作为掺合料,使用经验比较成熟(特别是符合国家标准的 I、II 级粉煤灰)应优先选用。

掺合料易与水泥混淆,常因管理不善,以致在运输与储存时两者混淆误用,造成混凝土质量事故。因此,对水泥与掺合料的运输罐车与储仓应严格区分,设置明显标志,严防混淆误用,以免影响混凝土质量,造成质量事故。