

928055

碾压式 混凝土坝施工法

黄自瑾 王景海 杨秀兰 编著

2.2
1

西北工业大学出版社

碾压式混凝土坝施工法

黄自瑾 王景海 杨秀兰 编著

西北工业大学出版社

1991年7月 西安

内 容 简 介

本书综合了国内外进行碾压式混凝土坝施工新技术的实践经验,阐述了碾压式混凝土的性能,碾压式混凝土坝的特点,碾压式混凝土配合比的设计方法,碾压式混凝土坝的施工,碾压式混凝土坝的防渗结构及碾压式混凝土坝的温度控制。碾压式混凝土不仅可用于混凝土坝,也可以用于道路、飞机跑道、大型基础工程等。

本书可作为高等学校水电类专业的教材,可供从事水利水电工程的技术人员参考,也可供从事建筑工程的技术人员以及中等专业学校有关专业的师生参考。

碾 压 式 混 凝 土 坝 施 工 法

编 著 者 黄国耀 王景海 杨秀兰

责任编辑 孙华圣

责任校对 钱伟峰

西北工业大学出版社出版发行

(西安市友谊西路127号)

全国各地新华书店经销

陕西机械学院印刷厂印装

ISBN 7-5612-0146-X/TV·3

*

开本 787×1092 毫米 1/32 4.5 印张 90 千字

1991 年 7 月第 1 版 1991 年 7 月第 1 次印刷

印数:1-3000 册 定价:1.95 元

前 言

长期以来,“分块浇筑法”作为混凝土坝的一种传统施工方法被各国所沿用。在1980年前后,才兴起了“碾压式混凝土坝施工法”,用分层碾压的方法进行施工,引起了混凝土坝施工方法的一次重大改革。这种新的施工方法,具有施工速度快、能缩短工期、降低工程成本等一系列优点,因而具有很强的生命力。从兴起到现在,世界各大洲均已有了采用此方法兴建的大坝。

各国的“碾压式混凝土坝施工法”各有特点。美国的碾压式混凝土坝施工法简称RCC(Roller Compacted Concrete)施工法。其特点是:(1)水泥用量很少。(2)层面不刷毛,不铺砂浆。(3)不设或少设横缝(伸缩缝)。(4)骨料不冲洗。(5)廊道部分用砂砾料代替混凝土,待周围混凝土硬化后除去砂砾。(6)下游不设模板等。结果是工程费用和工期各减少1/3,但坝体漏水严重。日本的碾压式混凝土坝施工法简称RCD(Roller Compacted Dam Concrete)施工法,其特点是(1)水泥用量少。(2)设置横伸缩缝。(3)层面刷毛并铺砂浆。(4)上游面设富混凝土层作为上游防渗层,结果坝体质量好,不漏水,工程费用与工期各减少大约10%。英国的碾压式混凝土施工法的特点是采用多浆量的混凝土。我国的碾压式混凝土坝施工法大致可以分为两类:第一类施工法是连续浇筑,层间不间断,层面不作处理,不设横缝,上游面设置沥

青砂浆防渗层(如坑口坝)或不设防渗层(如安滩围堰)。这类施工法与美国的 RCC 施工法相近似。但作了较大的改进,如骨料要求洁净,下游设置模板,坝体中的廊道设立模板等。第二类施工法是间歇浇筑,即层间间歇,层面要作处理,设置横缝,上、下游设置一定厚度的富混凝土。这类施工方法与日本的 RCD 施工法基本一致(如铜街子溢流坝)。我国幅员广阔,南北方气象条件相差较大,施工法条件各异,各坝(堰)的施工方法各有特点,但总的说来,我国碾压式混凝土坝的水泥用量少、粉煤灰掺量大,上游面设常态混凝土或沥青砂浆防渗层(指正规坝,围堰除外),结果保证了坝的质量,不漏水,实现了高速度。如坑口坝平均上升速度 $8\text{m}/\text{月}$, 最高上升速度 $13\text{m}/\text{月}$, 工程成本随之降低。

碾压式混凝土坝施工法是一种新的方法,各国作法不尽一致,应研究的问题也还不少,各地条件也不相同。因此,要规定出一种统一的施工方法模式是不可能的。采用碾压式混凝土坝施工法,应该根据各地的实际情况,创造新的作法。但借鉴国内、外一些工程实践的经验,无疑是有益的。日本的碾压式混凝土坝施工法把质量放在首位,在保证坝体质量的前提下追求速度与节约费用,是值得借鉴的。本书内容是以日本的碾压式混凝土坝施工经验为主,结合我国碾压式混凝土坝施工法的特点,对碾压式混凝土的性能及配合比设计方法、碾压式混凝土坝的特点、施工方法、防渗结构及温度控制作了简明扼要的阐述。

1982 年以来,为了介绍这一新的技术,我们参照参考文献 [1] 等编成“碾压式混凝土坝施工”讲义,作为陕西机械学院水利系举办的“施工管理班”的一门施工新技术课教材。

几年来,根据国内外碾压式混凝土坝施工法的不断发展,在原有讲义的基础上进行了几次删减增补,编成此书。

碾压式混凝土筑坝技术具有很强的生命力,在我国将有更大的发展。我们衷心希望此书能对研究与从事碾压式混凝土坝施工的同志们有所帮助。

由于水平所限,书中不妥之处在所难免,希望读者指正。

编 者

1990年5月

目 录

第一章 概论	1
一、碾压式混凝土坝施工法概要	1
二、碾压式混凝土坝施工法的优点	3
三、国外碾压式混凝土坝施工实例	6
四、我国碾压式混凝土坝施工的发展	12
五、碾压式混凝土坝施工法应考虑的基本事项 及应研究的课题	16
第二章 碾压式混凝土的质量特性	19
一、总述	19
二、碾压式混凝土的稠度(VC值)	19
三、碾压式混凝土的抗压强度	22
四、接缝的抗剪强度	25
五、碾压式混凝土的抗渗性	27
第三章 碾压式混凝土配合比设计方法	31
一、配合比设计的考虑方法	31
二、单位用水量	31
三、单位水泥用量	36
四、砂率或单位粗骨料容积	36
五、掺合料	38

六、碾压式混凝土配合比设计步骤	38
七、碾压式混凝土的配合特性	41
第四章 碾压式混凝土坝的施工	46
一、碾压式混凝土坝施工法总述	46
二、压实机理与振动碾选择	69
三、最优碾压参数	79
四、最优浇筑能力	83
五、模板	99
六、设备计划与施工管理要点	103
第五章 碾压式混凝土坝的防渗结构	106
一、碾压式混凝土坝设置防渗结构的必要性	106
二、碾压式混凝土坝的防渗结构型式	107
三、碾压式混凝土坝防渗结构选择与设计	109
第六章 碾压式混凝土坝的温度应力与温度控制	113
一、外部约束应力	113
二、内部约束应力	118
三、碾压式混凝土坝的温度控制	124
四、温度变化过程分析	125
五、我国碾压式混凝土坝的温度控制	131
参考文献	134

第一章 概 论

一、碾压式混凝土坝施工法概要

碾压式混凝土坝是用分层碾压方法建造的混凝土坝。用碾压方法修建混凝土坝,是一种新型的施工法,自1980年兴起以来,采用此法建成的坝,遍及世界各大洲。碾压式混凝土坝施工法是混凝土坝施工方法的重大改革。碾压式混凝土坝施工法的建坝材料是混凝土,而施工方法是采用碾压式土石坝的分层碾压方法,因而具有混凝土坝与土石坝两者的优点,克服了两者的某些缺点。土石坝的优点是对地形、地质条件要求低,施工所用的大型机械多为通用机械,容易节省投资。但是,土石坝存在以下问题:(1)无论是施工过程中还是竣工后都担心洪水漫坝。坝内不能设置溢洪道,而在坝肩附近设置大流量溢洪道时,开挖边坡往往很高,难以维护。(2)施工导流工程规模大。(3)土石料采取量大,运输工程规模大。(4)由于以上情况,对周围环境的影响相应也大。因此,近十几年来,我国修建的大坝,几乎没有土石坝,也与这些问题有关。混凝土坝具有以下优点:(1)防渗性与耐久性好,结构分析计算可靠性高。(2)竣工后坝体几乎不发生变形,容易维护管理。(3)坝体可以溢流,安全渡汛可靠性高。但混凝土坝存在下列问题:(1)对坝址条件要求较高。(2)施工工期较长。(3)由于大型机械设备能通用的少,水泥用量大等,造价一般较土石坝高。(4)由于水化热影响,容易

产生裂缝,为此,通常需求人工冷却。而碾压式混凝土坝施工法利用了混凝土坝的长处,又以土石坝施工上的有利之点来弥补混凝土坝施工上的短处,使筑坝技术更趋合理化。为此,先比较一下混凝土坝与土石坝的施工流程。以往混凝土坝施工的标准方法是分块浇筑法,其施工流程如下:(1)搅拌→(2)吊罐运输→(3)在浇筑块内卸料→(4)在浇筑块内摊铺→(5)用内部振捣器捣固。碾压式土石坝的施工流程为:(1)采取土石料→(2)自卸汽车运输→(3)在填筑面上卸料→(4)整个层面摊铺→(5)用振动碾碾压。把这两种施工流程加以比较,就可以看到明显的不同。与前者相比,后者是大范围、连续性作业,机械作业所占比例大。因此,混凝土重力坝施工时,如果吸取土石坝的施工优点,则可能使混凝土坝的施工更加合理化。立足于这种想法的混凝土坝新型施工方法就是碾压式混凝土坝施工法。

碾压式混凝土坝施工法的特点简述如下:

1. 混凝土为超干硬性混凝土。用于混凝土重力坝的混凝土,通常用内部振捣器捣固,故用流态混凝土。但是,碾压式混凝土是用振动碾碾压,为使振动碾能在浇筑面上行驶,混凝土采用超干硬性混凝土。

2. 混凝土的单位水泥用量少。混凝土重力坝的水泥用量长期不成文地采用 223kg/m^3 ,1940 年竣工的田纳西流域管理局(TVA)的 Hiwassee 坝首次打破这个水泥用量而采用 168kg/m^3 ,1954 年完建的由美国陆军工程师团修建的 Pine Flat 坝,采用了 140kg/m^3 ,1959 年竣工的日本田子仓坝的内部混凝土也采用了 140kg/m^3 ,这已是很低的用量。碾压式混凝土坝施工的温度控制,主要利用表面散热,不用冷却水

管。因此,尽可能少用水泥,以减少水化热。其单位水泥用量约在 $100\text{kg}/\text{m}^3$ 左右,渗入 $20 \sim 60\%$ 的粉煤灰,以保证和易性。我国坑口坝单位水泥用量降到 $60\text{kg}/\text{m}^3$,渗入 57% 粉煤灰。其强度满足了坝体要求。

3. 施工工艺过程与碾压式土石坝相似。从混凝土拌和楼到浇筑区的运输,一般采用固定缆式起重机、斜坡轨道、自卸汽车等。在浇筑现场采用自卸汽车运料,用推土机摊铺,用振动碾压实。浇筑方法是以整个坝体水平断而为浇筑层。浇筑层厚度为 30 或 50cm ,最大可达 100cm ,依振动碾的碾重与压实能力而定。

4. 坝段间的伸缩缝(横缝)在混凝土摊铺后或在压实后用切缝的方法设置,不设纵缝,因而也没有纵缝灌浆。

碾压式混凝土,因使用通用机械,所以也可以广泛适合于大坝以外的其他各种工程建筑。例如:机场的跑道、公路路面、石油基地的基础等,有着广阔的发展远景。

二、碾压式混凝土坝施工法的优点

碾压式混凝土坝施工法具有下列优点:

1. 减轻劳动强度和降低对劳动技术的要求。不需要安装设缝模板,不需要安装冷却水管和接缝灌浆管;清除混凝土表面的浮浆皮和其他作业便于使用机械作业;内部混凝土采用振动碾碾压,用振捣器的作业量少,减少了手工作业,减轻了劳动强度。另外,不象分块浇筑需要很多操纵缆式起重机等专业作业的熟练工人,而仅需要操纵通用机械的工人,即使工人对修坝缺乏经验,也能参加施工。

2. 减少水泥用量,分块浇筑法的内部混凝土的水泥用量

若以 140kg/m^3 计,碾压法以 100kg/m^3 计,则可减少水泥用量 28.6%。日本的岛地川坝内部混凝土方量为 16万m^3 ,节省水泥 6400t。大川坝节省水泥 11050t。

3. 节省设缝模板。碾压式混凝土坝不设纵横缝模板,所以模板用量大幅度减少。岛地川坝如用分块浇筑法需用模板 4.5万m^2 ,而用碾压法实用模板 2.5万m^2 ,节省 2万m^2 ,占 44%。大川坝如用分块浇筑法需用模板 7.34万m^2 ,而用碾压法实用模板 3.33万m^2 ,节省 4.01万m^2 ,节省 55%。

4. 节省冷却水管与接缝灌浆管等。

5. 节省两端移动式缆机的基础开挖量及其他临时设施。

6. 提高了作业效率。岛地川坝如用分块浇筑法,日平均浇筑 850m^3 的高峰期是 3 个月,而用碾压法日平均浇筑 800m^3 的高峰期持续了 12 个月。从 1978 年 12 月到 1980 年 6 月之间,月浇筑量在 1万m^3 以上,前述的 12 个月高峰浇筑期间月平均量达 1.744万m^3 ,各月基本上相差不大。大川坝设备使用率超过 80% 的天数达 70 天,而如果用分块浇筑法时仅为 18 天。

7. 能提高施工速度,缩短工期。岛地川坝如用分块浇筑法,每层 2.0m ,共需 22 个月,而用碾压法,每层 0.7m ,共需 20 个月。大川坝如用分块浇筑法,每层 2.0m ,共需 18 个月,而用碾压法只需 9 个月。兹将大川坝的浇筑量比较如下表,可以看出碾压法的施工速度快。

浇筑量	分块浇筑法	碾压法
月最大浇筑量	$22\,500\text{m}^3$	$40\,500\text{m}^3$
月平均浇筑量	$15\,000\text{m}^3$	$23\,200\text{m}^3$
日最大浇筑量	$1\,500\text{m}^3$	$2\,900\text{m}^3$
日平均浇筑量	750m^3	$1\,200\text{m}^3$

美国与我国的碾压式混凝土坝水泥用量少且粉煤灰掺量高,因此施工速度更高。美国的碾压式混凝土坝一般一天上升3~4层(层厚30cm),每周工作6天,平均日浇量为1000~3000m³。1986年竣工的蒙克斯维尔坝,总方量为22.1万m³,每周工作6天(每日两班,每班10h),总工期不到5个月,最大日浇筑量达5960m³。我国的坑口坝,坝高56.8m,总工期为6个月,平均月上升高度为8.0m。

8. 保证作业安全。与分块浇筑法相比,碾压法作业面积大,视野宽广,左右岸都能看到,没有死角,不但能目力监督作业情况,而且机械的运行、连络,也都容易看清。坝面没有过大的高差,左右岸可以来往通行。便于作业,安全容易保证。

9. 有利环境保护。分块浇筑法采用两端移动式缆式起重機施工时,需要大规模的开挖,对环境的影响较大。而碾压法,由于用固定式缆式起重机或自卸汽车,对环境的影响比较小。

10. 设计理论的多样化。基岩强度低,不宜修建混凝土坝。若修建土石坝则溢洪道过大。对于这种坝址可取与大川坝一样的措施。基础部分修筑底板,以分散应力,再在底板上修筑重力坝。对于这种坝址底板部分的施工,采用碾压法最为合适。对于地形、地质条件不好的坝址,通过采用碾压式混凝土施工法,可以达到设计理论的多样化。

当然,由于大坝形状不同,有的坝非常适合用碾压式混凝土施工法,有的则不适合。例如,坝址地形为U形,(比V形的)施工面积大,适合于用碾压法;在放水设备及检查廊道等坝内埋设物较多的情况下,由于得不到碾压式混凝土施工法所必需的面积,因此,不太适合使用碾压法;规模小的坝,由于施工场而不够,不太适合用碾压法;若坝高达100m以上,则

涉及到坝的设计条件所需要的混凝土强度,采用碾压法将受到一定限制。

近年来,碾压式混凝土坝施工法的研究有了新发展,实践中已突破了坝高 100m 的限制。如日本已完成的玉川坝坝高为 103m,正在修建的境川坝坝高 115m,拟建的宫濑坝高达 155m,美国正在修改设计的奥本坝,坝高达 209m。

此外,碾压式混凝土坝施工法也存在一些缺点:(1)外部混凝土及构造物外围混凝土的捣固仍用内部振捣器。(2)在放水设备和检查廊道等坝附属建筑物较多以及受坝的形状大小的限制,内部采用碾压法缺乏足够的施工面积的情况下,或在狭窄的作业场地内,有几种不同施工作业同时进行,显得拥挤杂乱。(3)对付施工中的洪水比分块浇筑法要困难一些。因碾压法的特点是全层浇筑,在施工过程中洪水过坝时,整个坝面都要溢流。因此两岸坝肩有被冲蚀的危险。特别是在预计到坝体溢流的情况下,分块浇筑法可以事前采取对策,将坝上的机械搬向较高的浇筑块上。因为碾压法是全层浇筑,撤退的场所需要布置得很远。针对这种情况,也可以考虑利用分区浇筑。

三、国外碾压式混凝土坝施工实例

碾压式混凝土坝施工,在日本,美国实验研究的较多,发展较快。日本目前(1989 年)完整地用碾压式混凝土坝施工法建成的坝已有 4 座,正在修建的 6 座。其中玉川坝坝高 103m (已建成),境川坝坝高 115m (正在施工中)。拟建的碾压式混凝土宫濑坝坝高达 155m。美国的柳溪坝则是全碾压式的混凝土坝。巴基斯坦等国也进行了碾压式混凝土施工的

的实验,此外,意大利有与碾压式混凝土坝施工法相类似的施工实例。

1. 日本大川水库上游围堰 大川水库上游围堰为混凝土重力坝型,堰高 19m,堰顶长 102.5m,总体积 1.4 万 m^3 。其中由底板板面到 334.5m 高程总计高度 11.5m 的区间,混凝土方量为 1 万 m^3 ,用碾压式混凝土坝施工法进行了实验施工,这是日本首次进行的大规模野外实验。这次野外实验使超干硬性的贫混凝土用振动碾压实的可能性得到证实。也证实了能够切缝作成伸缩缝。

2. 日本岛地川坝 岛地川坝是一座混凝土重力坝,坝高 89m,坝顶长 240m,坝体混凝土 31.7 万 m^3 。岛地川坝采用碾压式混凝土坝施工法的理由是:坝顶不设闸门采用自然调节,坝内构造物比较少,作为中型坝其形状比较标准等。混凝土的搅拌采用两轴强制搅拌机,制备出的混凝土极其均匀。混凝土的运输,因受地形的限制,设置标准的移动式缆式重机比较困难,而采用碾压式混凝土坝施工法时,能解决这一难点,是一个很大的优点,在此情况下,根据对各种机械配合研究的结果采用了固定式缆式起重机和自卸汽车配合的方法。混凝土的摊铺采用推土机。碾压采用 7 吨的振动碾。横缝设置先是在碾压后用振动切缝机切割而成,后来改在碾压前用切缝机的刀片压入接缝板以构成横缝。岛地川坝从规划,设计到施工、完建的整个过程中,都充分证实了碾压式混凝土坝施工法的经济性及其在技术上的实用性。

3. 日本大川坝的底板施工 大川坝为具有混凝土底板的重力式混凝土坝。坝高 73m,坝顶长 370m,坝体积 100 万 m^3 。其底板部分采用了碾压式混凝土。大川坝的地质调查结果,基岩的平均剪切强度(粘结力)较低,约为 $7.0\text{kgf}/\text{cm}^2$ 。

对于这种地质条件不良的坝址, 似乎可以修建普通的填筑坝。但是大川坝流域面积达 826km^2 , 设计洪水量超过 $6\,000\text{m}^3/\text{s}$, 由于地形限制, 难以在大坝外设置溢洪道, 故决定采取坝内设有泄洪孔的混凝土坝。另外, 关于增大基岩抗剪强度的基本形状进行了包括应力分布的多种方案的比较研究, 最后决定在河床部分铺设厚 20m , 长 180m , 体积约 30万 m^3 的混凝土底板, 以提高其抗剪的安全系数。(参阅图 1-1)。

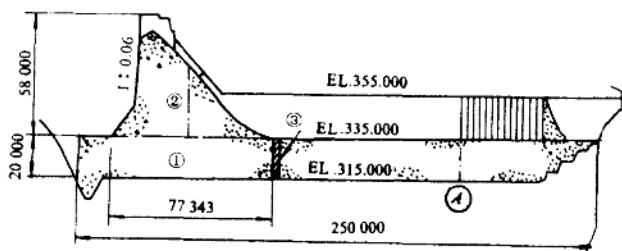


图 1-1 大川坝的标准断面

① 碾压式混凝土底板; ② 坝体; ③ 接缝

大川坝的底板部分是考虑到地质条件, 作为设计方面的合理化而拟定的, 已往重力坝坝体没有此种先例。但此却便于采用碾压式混凝土坝施工法。碾压式混凝土坝施工法, 需要施工面积宽广。大川坝底板部分平面面积约 1.5万 m^2 , 混凝土从拌和楼到浇筑地点用自卸汽车直接运输, 施工效率大幅度提高。大川坝底板部分的体积约 30万 m^3 , 除掉冬季停浇时间, 仅用了 9 个月即完成了混凝土浇筑, 可以说此项工程确实体现了碾压式混凝土坝施工方法的长处。

4. 日本新中野坝消力池基础施工 新中野坝是在旧坝上戴帽加高约 22m, 使坝高达到 75m 的一项工程, 坝体部分不可能采用碾压式混凝土, 仅消力池部分的基础约需浇筑 1.3 万 m^3 的混凝土, 用碾压式混凝土进行施工。这种部位不一定非用高质量的混凝土, 而采用碾压式混凝土施工既快速又经济, 且施工范围也比坝体广阔。同时考虑到通过此项工程试验, 也有助于碾压式混凝土施工法今后的推广。

5. 日本玉川坝 玉川坝为高 103m 的混凝土重力坝, 坝顶长 441.5m, 河床处长 200m, 体积 114 万 m^3 , 于 1983 年 9 月中旬开始施工, 该坝采用碾压式混凝土施工法, 其特点是混凝土运输采用一台 20t 固定式缆式起重机和两条设在右岸的斜坡轨道将混凝土运到坝面, 再用自卸汽车转运散料。

轨道全长约 150m,
高 差 94.4m,
轨道坡度 38.7° ;
运输能力 $140 \text{ m}^3/\text{h}$,
车斗容量 9 m^3 ,
速 度 150 m/min ,
电动机出力 450kw。

6. 美国 Lost creek 坝 美国陆军工程师团在俄勒冈州修建了 Lost creek 坝, 在此坝上所进行的实验, 对研究所所进行的野外试验起着补充试验的作用。通过这次野外试验, 获得了各种试验结果, 例如对水泥用量 41 kg/m^3 粉煤灰 78 kg/m^3 的混凝土, 钻取样芯试验, 龄期 120 天的抗压强度达到了 161 kg/cm^2 , 引起了人们的重视。另外, 为了使接缝部位结合