

# 中国碾压混凝土坝统计分析

刘六宴<sup>1</sup> 温丽萍<sup>2</sup>

- (1. 水利部建设与管理司, 北京 100053;  
2. 国家知识产权局专利复审委员会, 北京 100080)

**【摘要】** 自20世纪80年代起,碾压混凝土筑坝技术在中国得到广泛研究和快速推广,无论是建坝数量、坝体规模还是筑坝工艺、技术创新都处于世界领先水平。本文全面统计了中国当前已建及在建的碾压混凝土坝工程,从建设年代、地域分布、结构型式等方面系统分析了中国碾压混凝土坝建设的基本特征和碾压混凝土筑坝技术特点,也以此反映中国在研究、推广、应用碾压混凝土筑坝技术上所取得的显著成就。

**【关键词】** 碾压混凝土; 坝型; 坝高; 统计; 分析

中图分类号: TV642.2

文献标志码: A

文章编号: 1005-4774(2017)01-0006-06

## Statistical analysis on RCC dam in China

LIU Liuyan<sup>1</sup>, WEN Liping<sup>2</sup>

- (1. *Construction and Management Department of the Ministry of Water Resources, Beijing 100053, China;*  
2. *Patent Reexamination Board of SIPO, Beijing 100080, China*)

**Abstract:** Roller compacted concrete damming technology is studied widely and promoted rapidly in China since the 1980s. Dam quantity, dam size, damming technology and technological innovation are at world-leading level. In the paper, RCC dam projects which have been constructed and are under construction in China at present are comprehensively recorded. The basic characteristics of China RCC dam construction and technical features of RCC dams are analyzed systematically from the aspect of construction year, regional distribution, structure mode and other aspects, and the significant achievements of China in the aspects of studying, promoting and applying RCC damming technology are also reflected accordingly.

**Key words:** RCC; dam type; dam height; statistics; analysis

碾压混凝土坝作为一种新兴坝型,具有可利用粉煤灰等废料、减少污染、节约水泥、缩短工期、节省投资等显著优势,是科学技术发展推动筑坝新材料、新技术、新工艺出现的结果,更是20世纪筑坝技术的一次重大创新和突破。1980年,日本建成了世界上第一座碾压混凝土坝——岛地川坝,坝高89m。中国自20世纪70年代末至80年代初开始研究试验碾压混凝土筑

坝技术,并于1986年建成国内第一座碾压混凝土坝——坑口水电站,坝高56.8m,自此开启了中国筑坝建设的新时代,一大批碾压混凝土坝相继建成。截至2016年,中国已建、在建碾压混凝土坝192座(含试验坝,不含碾压混凝土围堰),占水库大坝总数的0.2%,其中已建174座、在建18座,以发电为主的有144座,以防洪、供水、灌溉为主的48座。总体看,中国是目前

世界上碾压混凝土坝建设速度最快、建成数量最多、筑坝经验最丰富、工艺创新最广的国家。中国部分 120m 以上碾压混凝土坝见表 1。

表 1 中国部分已建、在建 120m 以上碾压混凝土坝一览表

序号	工程名称	所在省份	最大坝高/m	总库容/亿 m <sup>3</sup>	主坝坝型	装机容量/MW	建成年份
1	龙滩水电站	广西	216.5	273	重力坝	6300	2009
2	黄登水电站	云南	203.0	15	重力坝	1900	2019
3	光照水电站	贵州	200.5	32.45	重力坝	1040	2009
4	官地水电站	四川	168.0	7.6	重力坝	2400	2013
5	万家口子水电站	贵州/云南	167.5	2.69	双曲拱坝	180	2017
6	金安桥水电站	云南	160.0	9.13	重力坝	2400	2011
7	观音岩水电站	四川/云南	159.0	20.72	重力坝	3000	2015
8	托巴水电站	云南	158.0	10.394	重力坝	1250	2016
9	象鼻岭水电站	贵州/云南	146.5	2.63	双曲拱坝	240	2017
10	三河口水利枢纽	陕西	145.0	7.1	双曲拱坝	64	2019
11	三里坪水库	湖北	141.0	4.99	双曲拱坝	70	2013
12	鲁地拉水电站	云南	140.0	17.18	重力坝	2160	2013
13	乌弄龙水电站	云南	137.5	2.72	重力坝	990	2018
14	九甸峡水库	甘肃	136.0	9.91	重力坝	300	2008
15	大花水水电站	贵州	134.5	2.765	双曲拱坝	200	2008
16	石埡子水电站	贵州	134.5	3.218	重力坝	140	2010
17	土溪口水库	四川	132.0	1.61	拱坝	51	2020
18	立洲水电站	四川	132.0	1.8975	双曲拱坝	335	2016
19	阿海水电站	云南	132.0	8.85	重力坝	2000	2013
20	江垭水利枢纽	湖南	131.0	17.4	重力坝	300	2000
21	青龙水电站	湖北	130.7	0.2939	双曲拱坝	40	2011
22	百色水利枢纽	广西	130.0	56.6	重力坝	540	2006
23	洪口水电站	福建	130.0	4.497	重力坝	200	2008
24	沙牌水电站	四川	130.0	0.18	单曲拱坝	36	2006
25	云龙河三级电站	湖北	129.0	0.4382	双曲拱坝	40	2009
26	格里桥水电站	贵州	124.0	0.774	重力坝	150	2010
27	永定桥水库	四川	123.0	0.1659	重力坝		2016
28	黄藏寺水利枢纽	甘肃	122.0	4.03	重力坝	49	2021
29	哈腊塑克水利枢纽	新疆	121.5	24.19	重力坝	140	2014
30	武都水库	四川	120.0	5.72	重力坝	150	2008

## 1 中国碾压混凝土坝建设年代分布

自 20 世纪中国开展碾压混凝土筑坝技术研究应用以来的三十多年时间,大致经过三个发展阶段。第一阶段(20 世纪 80 年代),碾压混凝土筑坝技术试验研究和探索应用时期。在龚嘴、沙溪口水电站大坝进

行试验性施工的基础上,相继建成了坑口、马回、龙门滩一级水电站和潘家口水库下池 4 座碾压混凝土坝,这个阶段主要采用 RCD 工法施工,坝型为重力坝,坝体防渗主要采用“金包银”型式。其中,潘家口水库下池碾压混凝土坝首次创新性采用全断面碾压施工技术,大幅提高了碾压施工效率,节省投资效果得到进一

步发挥,也有效解决了 RCD 工法干扰多、坝体内外温控措施复杂等问题。第二阶段(20 世纪 90 年代),全面推广应用时期。相继建设岩滩、水口水电站等 34 座碾压混凝土坝,首次在棉花滩水电站创新性采用了变态混凝土防渗型式,进一步深化了全断面碾压混凝土筑坝技术,碾压混凝土快速施工、简化温控措施等优势得到更大范围体现。同时,碾压混凝土技术应用也由重力坝向拱坝发展,1995 年建成当时世界最高的碾压混凝土拱坝——普定碾压混凝土双曲拱坝,坝高 75m。另外,碾压混凝土坝体高度首次突破 100m 级,岩滩水

电站碾压混凝土坝高 110m,水口水电站碾压混凝土坝高 101m,碾压混凝土在高坝水库中的应用充分证明其物理力学性能完全满足坝体安全运行的要求。第三阶段(21 世纪),高速发展时期。碾压混凝土筑坝技术研究不断深入,21 世纪前 16 年开工建设 152 座碾压混凝土坝,年均开工建设近 9.5 座,200m 级高坝、双曲薄拱坝建设取得重要突破,其中建成世界最高的碾压混凝土坝——龙滩水电站碾压混凝土坝,坝高 216.5m。中国碾压混凝土坝建设年代分布情况见表 2。

表 2 中国碾压混凝土坝建设年代分布

建设年代	20 世纪 70 年代		20 世纪 80 年代		20 世纪 90 年代		21 世纪		合 计	
小计/座	1(试验)		5		34		152		192	
其中	已建	在建	已建	在建	已建	在建	已建	在建	已建	在建
	1	0	5	0	34	0	134	18	174	18
	重力坝	拱坝	重力坝	拱坝	重力坝	拱坝	重力坝	拱坝	重力坝	拱坝
	1	0	5	0	28	6	111	41	145	47

## 2 中国碾压混凝土坝分布情况(地域)

中国碾压混凝土坝最先起步于福建、四川等少数地区,随着温度、湿度控制技术的日益成熟,以及运输、碾压设备的逐步改进,碾压混凝土筑坝技术在全国大多数地区得到了广泛应用,既有高山峡谷地区,也有浅丘宽河谷地区;既有高温多雨湿热地区,也有干旱寒冷易震地区。全国已建、在建 192 座碾压混凝土坝分布于 27 个省(直辖市、自治区),其中云南 26 座、贵州 21 座、四川 17 座、湖北 15 座、福建 14 座、广西 13 座、广东 12 座,该 7 省(自治区)碾压混凝土坝数量居全国前列,累计占全国总数的 61.7%;黑龙江、江苏、山东、海

南、西藏 5 省(自治区)各 1 座碾压混凝土坝,北京、天津、上海、宁夏 3 市(自治区)无碾压混凝土坝。

59 座坝高 100m 以上碾压混凝土坝分布于 12 个省(直辖市、自治区),其中云南 15 座、贵州 12 座、四川 10 座,河北、山西、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、江苏、浙江、江西、山东、河南、广东、海南、西藏、青海 15 个有碾压混凝土坝的省(直辖市、自治区),尚没有坝高 100m 以上碾压混凝土坝。9 座坝高 150m 以上碾压混凝土坝分布在 4 省(自治区),云南 3 座、四川 3 座、贵州 2 座、广西 1 座。坝高 200m 以上碾压混凝土坝分布在云南、贵州、广西 3 省(自治区),各 1 座。中国碾压混凝土坝地域分布情况见表 3。

表 3 中国碾压混凝土坝地域分布

全 国 碾 压 混 凝 土 坝 总 体 分 布									
地域	河北	山西	内蒙古	辽宁	吉林	黑龙江	江苏	浙江	安徽
座数	4	2	2	4	4	1	1	2	3
地域	福建	江西	山东	河南	湖北	湖南	广东	广西	海南
座数	14	6	1	5	15	7	12	13	1
地域	重庆	四川	贵州	云南	陕西	西藏	甘肃	青海	新疆
座数	9	17	21	26	8	1	6	2	5

续表

坝高 100m 以上碾压混凝土坝分布									
地域	安徽	福建	湖北	湖南	广西	重庆	四川	贵州	云南
座数	1	3	6	1	4	1	10	12	15
地域	陕西	甘肃	新疆						
座数	2	2	2						
坝高 150m 以上碾压混凝土坝分布									
地域	广西	四川	贵州	云南					
座数	1	3	2	3					
坝高 200m 以上碾压混凝土坝分布									
地域	广西	贵州	云南						
座数	1	1	1						

### 3 中国碾压混凝土坝分布情况(坝高)

中国已建、在建 192 座碾压混凝土坝中,坝高低于 100m 的碾压混凝土 133 座,占 69%;坝高 100m 以上碾压混凝土坝 59 座,占 31%,其中,坝高 150m 以上碾压混凝土坝 9 座,坝高 200m 以上碾压混凝土坝 3 座。所有碾压混凝土坝坝高均超过 20m。

59 座坝高 100m 以上碾压混凝土坝中,已建 49 座,在建 10 座。9 座坝高 150m 以上碾压混凝土坝中,已建 7 座,在建 2 座,其中 3 座 200m 以上碾压混凝土坝中,已建 2 座,在建 1 座。

59 座坝高 100m 以上碾压混凝土坝中,仅 3 座建成于 20 世纪 90 年代,其余 56 座均兴建于 21 世纪,其中 9 座坝高 150m 以上碾压混凝土坝全部兴建于 21 世纪。说明中国早期碾压混凝土筑坝技术处于研究探索、积累实践经验阶段,建设的碾压混凝土坝主要以中低坝为主,随着试验研究的深入和实践经验的不断丰富,到 21 世纪大规模开启了 100m 级、200m 级碾压混凝土坝建设,将来有望实现 250m 级或 300m 级碾压混凝土坝建设。中国碾压混凝土坝按坝高分布统计情况见表 4。

表 4 中国碾压混凝土坝按坝高分布统计情况

坝高	200m 以上		100 ~ 200m		90 ~ 100m		80 ~ 90m		70 ~ 80m	
座数	3		56		12		23		17	
其中	已建	在建	已建	在建	已建	在建	已建	在建	已建	在建
	2	1	47	9	10	2	22	1	14	3
坝高	60 ~ 70m		50 ~ 60m		40 ~ 50m		30 ~ 40m		30m 以下	
座数	30		27		13		9		2	
其中	已建	在建	已建	在建	已建	在建	已建	在建	已建	在建
	30	0	26	1	12	1	9	0	2	0

### 4 中国碾压混凝土坝坝型分布情况

碾压混凝土筑坝技术的一个重要特点就是施工速度快、建设工期短,这就要求大坝结构尽可能简单,以保证大仓面连续碾压施工。因此,碾压混凝土坝不同于常态混凝土坝,既没有宽缝式、空腹式坝体,也没有

支墩坝型,仅有实体重力坝和拱坝两种型式。已建、在建 192 座碾压混凝土坝中,重力坝 145 座,占 75.5%,拱坝 47 座,占 24.5%,重力坝作为一种传统坝型占绝大多数,特别是坝高超过 200m 和坝高低于 40m 的碾压混凝土坝没有拱坝,特高坝尚未采用拱坝是基于安全考虑,低坝未采用拱坝主要基于投资成本考虑。

但是,56座坝高100~200m的碾压混凝土坝中,拱坝有20座,占35.7%;2000年后开工建设的152座碾压混凝土坝中,拱坝有41座,占27%,说明新时期建设的高碾压混凝土坝中,拱坝因其支撑荷载和投资成本优势而被较广泛采用。目前,由于龙滩水电站二期工程尚未开工建设,贵州光照水电站是中国已建最高碾压混凝土重力坝,坝高200.5m;云南黄登水电站是中国在建最高的碾压混凝土重力坝,坝高203m。贵州普定水电站是中国建设的第一座碾压混凝土拱坝,坝高75m;河北温泉保水库是中国在寒冷地区建成的第一座碾压混凝土拱坝,坝高49m;果多水电站是中国西藏自治区第一座碾压混凝土坝,坝高83m。中国碾压混凝土坝坝型分布统计情况见表5。

碾压混凝土拱坝与常态混凝土拱坝一样,既有单曲拱坝,也有双曲拱坝;既有薄拱坝(厚高比小于0.2),也有中厚坝( $0.2 \leq$ 厚高比 $< 0.35$ )和厚拱坝(厚高比大于等于0.35);既有等厚拱坝,也有变厚拱坝。47座已建、在建碾压混凝土拱坝中,薄拱坝14座、中厚拱坝30座、厚拱坝3座,单曲拱坝9座、双曲拱坝38座,以双曲拱坝、中厚拱坝和变厚拱坝居多。新疆石门子水库(坝高109m)、安徽流波水电站(坝高70.1m)、

云南南康河二级水电站(坝高68m)、福建溪柄水电站(坝高63.5m)、河北温泉堡水库(坝高49m)等大坝为碾压混凝土单曲拱坝;位于贵州、云南交界的万家口子水电站(坝高167.5m)、象鼻岭水电站(坝高146.5m)碾压混凝土双曲拱坝是中国在建最高的碾压混凝土拱坝,也是中厚拱坝,厚高比分别为0.215和0.258;湖北三里坪水电站碾压混凝土双曲拱坝是中国已建最高碾压混凝土拱坝,也是中国已建最高的碾压混凝土薄拱坝,坝高141m,厚高比0.17。贵州普定水电站(坝高75m,厚高比0.386)、云南红坡水库(坝高55.2m、厚高比0.48)、江西伦潭水利枢纽(坝高90.4m、厚高比0.373)碾压混凝土拱坝为厚拱坝,俗称重力拱坝。福建溪柄水电站是中国建设的第一座碾压混凝土薄拱坝,坝高63.5m,厚高比0.19;甘肃龙首水电站是中国在高寒地区建成的最高碾压混凝土薄拱坝,坝高80m,厚高比0.17;湖北招徕河水电站是中国建成的第一座100m级碾压混凝土薄拱坝,坝高107m,厚高比0.17;湖北云龙河三级水电站是中国最薄的碾压混凝土拱坝,坝高129m,厚高比0.14。中国部分碾压混凝土拱坝结构型式及厚高比见表6。

表5 中国碾压混凝土坝坝型分布统计情况

坝高	200m以上		100~200m		90~100m		80~90m		70~80m	
	重力坝	拱坝	重力坝	拱坝	重力坝	拱坝	重力坝	拱坝	重力坝	拱坝
座数	3	0	36	20	4	8	20	3	13	4
坝高	60~70m		50~60m		40~50m		30~40m		30m以下	
	重力坝	拱坝	重力坝	拱坝	重力坝	拱坝	重力坝	拱坝	重力坝	拱坝
座数	23	7	24	3	11	2	9	0	2	0

表6 中国部分碾压混凝土拱坝结构型式及厚高比

序号	名称	所在省份	坝型	坝高/m	厚高比	建成年份	备注
1	云龙河三级水电站	湖北	双曲拱坝	129	0.14	2009	薄拱坝
2	云口水电站	湖北	双曲拱坝	119	0.155	2009	薄拱坝
3	罗坡坝水电站	湖北	双曲拱坝	111	0.158	2009	薄拱坝
4	青龙水电站	湖北	双曲拱坝	130.7	0.167	2011	薄拱坝
5	三里坪水电站	湖北	双曲拱坝	141	0.17	2007	薄拱坝
6	招徕河水电站	湖北	双曲拱坝	107	0.17	2007	薄拱坝
7	龙首水电站	甘肃	双曲拱坝	80	0.17	2002	薄拱坝

续表

序号	名称	所在省份	坝型	坝高/m	宽高比	建成年份	备注
8	大花水水电站	贵州	双曲拱坝	134.5	0.171	2007	薄拱坝
9	溪柄水电站	福建	单曲拱坝	63.5	0.189	1996	薄拱坝
10	万家口子水电站	云南	双曲拱坝	167.5	0.215	2011	中厚拱坝
11	沙牌水电站	四川	单曲拱坝	130	0.238	2001	中厚拱坝
12	玄庙观水电站	湖北	双曲拱坝	65.5	0.252	2005	中厚拱坝
13	石门子水库	新疆	单曲拱坝	109	0.275	1997	中厚拱坝
14	白莲崖水训	安徽	单曲拱坝	104.6	0.287	2009	中厚拱坝
15	温泉堡水库	河北	单曲拱坝	48	0.29	1995	中厚拱坝
16	流波水电站	安徽	单曲拱坝	70.1	0.3	2007	中厚拱坝
17	李家河水电站	陕西	双曲拱坝	98.5	0.315	2014	中厚拱坝
18	伦潭水利枢纽	江西	双曲拱坝	90.4	0.373	2011	厚拱坝
19	普定水电站	贵州	双曲拱坝	75	0.386	1993	厚拱坝
20	红坡水库	云南	重力拱坝	55.2	0.48	1999	厚拱坝

## 5 结 语

a. 碾压混凝土坝作为一种新兴坝型,是新技术进步、新工艺发展、新材料利用的成果,具有利用工业废料、减少污染、节约水泥、缩短工期、节省投资等显著优势,将是今后较长时期最流行的坝型之一。

b. 中国是世界上碾压混凝土筑坝技术研究、推广与应用的主战场,30年时间已兴建192座碾压混凝土坝,无论是筑坝数量、大坝高度、大坝结构多样性,还是筑坝工艺、发展速度都处于世界领先地位。

c. 中国碾压混凝土坝分布于27个省(直辖市、自治区),无论是干热河谷地区、高温多雨地区,还是高寒、高海拔地区,都有碾压混凝土坝工程,但主要分布在云南、贵州、四川、湖北、福建、广西、广东7省(自治区)。

d. 中国碾压混凝土坝建设起步于20世纪80年代,建成了5座碾压混凝土坝;全面推广于20世纪90年代,建成了34座碾压混凝土坝;快速发展于21世纪,兴建了152座碾压混凝土坝。

e. 中国现有192座碾压混凝土坝中,坝高100m

以上碾压混凝土坝达59座,其中3座超过200m。现有碾压混凝土坝中,重力坝占75.5%,拱坝占24.5%,碾压混凝土坝的结构型式以重力坝为主,但21世纪开工建设的碾压混凝土坝中拱坝比例接近27%,而且坝高100m以上碾压混凝土坝中,拱坝比例达34%,说明新时期建设的高碾压混凝土坝中,拱坝因其支撑荷载和投资成本优势而被较广泛采用。◆

## 参考文献

- [1] 俞瑞堂. 国外碾压混凝土筑坝最新技术及发展[J]. 水利水电工程设计,1995(2).
- [2] 董安建,刘六宴. 变态混凝土在碾压混凝土坝中的应用[J]. 水力发电,2000(3).
- [3] 方坤河. 中国碾压混凝土坝的配合比研究[J]. 水力发电,2003(11).
- [4] 刘六宴,温丽萍. 混凝土坝型分类及特征分析[J]. 水利建设与管理,2016(9).
- [5] 梅锦煜,李小群,郑桂斌,等. 中国碾压混凝土筑坝技术(2015)[M]. 北京:中国环境出版社,2015.
- [6] 田育功. 碾压混凝土快速筑坝技术[M]. 北京:中国水利水电出版社,2010.