



水工混凝土新技术综述

田育功

汉能控股集团云南汉能投资有限公司

2014年10月 贵阳

1994年动工的三峡水电站

汇报内容

- 1、前言
- 2、标准对水工混凝土新技术影响
- 3、水工混凝土原材料新技术
- 4、水工混凝土配合比设计新理念
- 5、提高混凝土耐久性新技术创新
- 6、多元复合材料抗磨蚀混凝土新技术
- 7、南水北调大型渡槽高性能混凝土新技术
- 8、无裂缝混凝土坝技术创新探讨

1 前言

举世瞩目的三峡工程开创了我国乃至世界许多水利水电工程的第一，现代水工混凝土新技术是从三峡大坝工程开始，开创了现代水工混凝土新技术发展的里程碑。

三峡工程从1993年开始至2009年建成，建设工期17年，分三期建设，即5年+6年+6年。三峡大坝第一仓混凝土于1997年12月11日浇筑，至2006年5月20日最后一仓混凝土浇筑完成，历时8年半，大坝共浇筑混凝土1600多万 m^3 。笔者亲自参加了三峡大坝工程建设，是三峡大坝第一仓至最后一仓混凝土浇筑的亲历者，见证者，感到无比自豪！

水工混凝土是典型的大体积混凝土，它具有长龄期、大级配、低坍落度、高掺掺合料、双掺减水剂和引气剂、水化热低等特点，其可塑性、使用方便、经久耐用、适应性强、安全可靠等优势，是其它材料无法替代的。



建设中的三峡大坝工程泄洪坝段



2013年10月小湾水电站294.5m双曲拱坝



2007年11月光照200.5m RCC重力坝

2、标准对水工混凝土新技术的影响

(1) 技术标准是一个国家科技进步的具体体现。由于电力体制的改革，形成了水利SL与水电DL工程标准。具不完全统计，30多个标准名称是相同。标准要进行改革，打破条块分割、各自为政的局面。例如坝高划分。

(2) 水工混凝土强度等级应采用应统一符号。大坝混凝土强度等级C与原大坝常态（碾压）混凝土标号R并非对应关系。水工混凝土应采用统一的强度等级C表示，如C₉₀15、C₉₀20、C20、C30等。例如沧潭水库碾压混凝土拱坝。

(3) 设计龄期。SL与DL在混凝土设计龄期采用不同标准，比如碾压混凝土设计龄期，采用SL标准为180d,采用DL标准为90d，目前高拱坝混凝土均采用180设计龄期。大坝混凝土设计龄期值得我们反思，需要进行技术创新发展。

(4) 坝体混凝土分区分析。比如高拱坝混凝土分区：二滩分A、B、C三区；小湾分四区，设计最高等级为C₁₈₀40；拉西瓦250m高拱坝，坝体混凝土通过优化，分为下部和上部，下部C₁₈₀32W12F300、上部为C₁₈₀25W12F300。

3、水工混凝土原材料新技术

(1) 水泥。从三峡工程开始，制定了严格的内控指标：中热水泥比表面积、氧化镁含量、碱含量、抗压强度、抗折强度以及矿物成分 C_3A 、 C_4AF 进场水泥温度，混凝土总碱含量，提出了严格的控制指标要求。

(2) 掺合料。掺合料技术标准如《水工混凝土掺用天然火山灰质材料技术规范》、《水工混凝土掺用石灰石粉技术规范》等。粉煤灰作为掺合料始终占主导地位，三峡大坝内部掺优质粉煤灰达45%。比如贵阳院“超高粉煤灰掺量的试验研究”科研项目，采用聚羧酸高性能减水剂，粉煤灰掺量常态混凝土可提高到40%~70%，碾压混凝土可提高到65%~75%。成果已在部分工程应用。

(3) 人工砂。人工砂中含有较高的石粉含量能显著改善混凝土性能。水电九局在观音岩通过技术创新，实现了“半干式人工砂生产工艺智能化控制技术”，使成品砂的含水率控制在6%以内，常态砂石粉含量为14%~18%，碾压砂石粉含量为18%~22%。

(4) 外加剂。近年来第三代聚羧酸高性能减水剂发展迅速，为配合比设计、掺合料掺量及适应范围提供了更大的空间。羧酸减水剂具有高减水、高保坍、高增强等特点，但掺聚羧酸混凝土拌和物易板结、适应富浆或小级配混凝土，为此，还需要进一步深化研究。

4、水工混凝土配合比设计新理念

1997年三峡二期工程开始，通过大量的试验研究，三峡大坝配合比设计严格坚持采用低水胶比、低用水量和低水泥用量技术路线；坚持掺I级粉煤灰；增加粉煤灰掺量；坚持在混凝土中全部掺缓凝高效减水剂和引气剂；采用有微膨胀性的水泥；限制原材料的碱含量，使混凝土总碱量小于 $2.5\text{kg}/\text{m}^3$ 。

三峡工程创新性的提出了“三低一高两掺”的水工混凝土配合比设计理念。即配合比设计采用“低水胶比、低用水量、低水泥用量，高掺优质粉煤灰，双掺缓凝高效减水剂和引气剂”的技术路线。

5、提高混凝土耐久性技术创新

(1) 抗冻等级是水工混凝土耐久性能极为重要的控制指标之一。混凝土耐久性能与含气量密切相关。水工混凝土在实际的生产工艺（拌和、出机、运输、入仓、平仓、振捣以及硬化等）过程中，由于水泥水化反应、气候环境以及施工条件等因素的影响，新拌混凝土的坍落度和含气量损失不可避免。

(2) 提高混凝土耐久性课题研究依托黄河拉西瓦水电站工程。结果表明：在混凝土中掺入稳气剂后，新拌混凝土经过60min时经振捣后，经检测掺稳气剂混凝土坍落度仍可以达到3.0~3.5 cm，含气量仍保持在4.1%~4.6%，保持混凝土含气量和坍落度效果显著。

(3) 保持混凝土含气量结果表明：掺稳气剂混凝土力学性能、极限拉伸、弹性模量均呈增大趋势；掺稳气剂混凝土经冻融试验后，90d龄期抗冻等级达到F550以上，28d龄期抗冻等级即可达到F300。保持混凝土含气量对提高混凝土耐久性能具有非常重要的现实意义。

6、多元复合材料抗磨蚀混凝土新技术

(1) 抗磨蚀混凝土设计指标。抗磨蚀混凝土设计强度等级一般为C35-C50，设计龄期已经从28d改为90d,有利粉煤灰掺量的提高，对防裂十分有利。

(2) 多元复合材料抗磨蚀混凝土配合比设计。掺合料从过去的单掺硅粉发展到现在的多元复合材料，即联掺粉煤灰、硅粉及纤维。但硅粉及纤维在拌合楼掺入还需要人工掺加，均质性难以保证。目前纤维素纤维分散性良好，使用效果明显。

(3) 抗磨蚀混凝土与基层混凝土同仓浇筑工艺。工程实践证明：只要抗磨蚀混凝土与基层混凝土分开施工，不论锚筋或抗磨蚀混凝土分布钢筋设计多么合理，但抗磨蚀混凝土破坏均是从基层混凝土与抗磨蚀混凝土的结合层破坏，抗磨蚀混凝土本身并未被冲蚀破坏。

(4) HF新型抗磨蚀混凝土技术。HF新型抗磨蚀混凝土是由HF外加剂、优质掺合料、符合要求的砂石骨料和水泥等组成，并按设计要求进行配合比设计和抗裂设计，按规定的工艺和质量控制体系组织施工浇筑的混凝土，已得到广泛应用。

7、南水北调大型渡槽高性能混凝土新技术

(1) 南水北调中线大型渡槽。南水北调中线大型渡槽主要有漕河渡槽、沙河渡槽、双洎河及湍河四座大型渡槽。漕河渡槽位于河北满城，采用满堂红脚手架现场浇筑；沙河渡槽位于河南鲁山，槽身为U型预制大型渡槽，单槽净宽8m、净高7.4m，槽身跨度30m,采用1200t龙门吊车进行组装；双洎河位于河南新郑，槽身采用大型组合模板，现场一次浇筑成型；湍河渡槽位于河南南阳，最大跨度40m,现场浇筑。

(2) 案例：漕河大型渡槽设计特点。漕河渡槽最大单跨长度30m，底宽20.6m，底板厚50cm；渡槽槽身为大体积薄壁结构，多侧墙段为三槽一联筒支结构预应力混凝土，具有跨度大、结构薄、级配小、等级高的特点，这个超极限长度的渡槽上面还要承担3000多吨水的荷载，所以输水工程最怕的就是裂缝。漕河大型渡槽是目前世界上最大输水渡槽，所以高性能混凝土大型渡槽抗裂及防渗性能要求极为严格。

(3) 漕河大型渡槽高配合比设计。漕河渡槽为**C50F200W6**高性能混凝土，槽身钢筋密集，采用最大骨料粒径25mm的骨料，控制新拌混凝土坍落度大于200mm，扩散度大于550mm。通过试验研究，漕河大型渡槽高性能混凝土混凝土施工配合比见下表。

表 C50F200W6高性能混凝土施工配合比

配合比参数						材料用量(kg/m ³)						
水胶比	砂率(%)	煤灰(%)	硅粉(%)	聚羧酸CS-SP1(%)	引气剂DH _{9A} (%)	水	水泥	粉煤灰	硅粉	天然砂	石(mm)	
											5~10	10~25
0.30	43	20	0	1.1	0.004	145	386	97	0	760	359	666
0.33	42	20	3	1.1	0.004	145	338	88	13	761	368	682

新拌混凝土



预制拉杆梁



照片 渡槽槽身结构断面照





8、无裂缝混凝土坝技术创新探讨

(1) 混凝土坝的特点。混凝土坝是典型的大体积混凝土，温控防裂问题十分突出，所谓“无坝不裂”的难题一直困扰着人们，“温控防裂”已成为制约混凝土坝技术发展的瓶颈。

(2) 组合混凝土坝筑坝技术。采用组合混凝土坝，其实质就是在坝体内部采用大级配贫胶凝碾压混凝土、胶凝砂砾石或堆石混凝土等作为大坝稳定体，达到有效降低水泥用量和水化热温升以及扩大利用开挖料范围的目的。

(4) 组合混凝土坝组合原则。一般为两种混凝土组合。大坝内部采用大级配贫胶凝碾压混凝土、胶凝砂砾石或堆石混凝土，根据料源情况和布置特点优选其中的一种混凝土；坝体上游防渗区可采用富胶凝二级配或三级配碾压混凝土及变态混凝土；坝体外部、廊道及复杂结构部位采用常态混凝土。

(5) 组合混凝土坝施工。组合混凝土坝是典型的“金包银”混凝土坝，对于“金包银”混凝土坝而言，两种不同混凝土性能衔接至关重要。特别需要注意的是，防渗区混凝土浇筑必须与内部混凝土保持同仓、同层、同步浇筑上升，采用错缝衔接技术施工，是保证“金包银”坝混凝土整体性的关键。

由于时间原因，发言到此，欢迎批评指正！



谢谢