

CSG 筑坝技术在老挝南欧江五级水电站围堰施工中的应用

苟仕文, 施东松

(中国水利水电第十工程局有限公司, 四川 都江堰 611830)

摘要:对 CSG 混凝土配合比设计及现场施工技术进行了研究,分析了其在老挝南欧江五级水电站围堰施工中的应用。该项筑坝技术节约了成本,缩短了工期,可为其他 CSG 混凝土筑坝工程施工提供参考。

关键词:CSG;筑坝技术;老挝南欧江五级水电站;围堰工程;应用

中图分类号:TV7;TV52;TV551

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2017)02-0113-04

1 工程概述

南欧江五级水电站位于老挝丰沙里省境内,为南欧江规划七个梯级水电站中的第五级。电站以发电为主,主要建筑物包括混凝土重力坝、坝身进水口及坝后式厂房、坝身溢洪道及消力池、护岸工程等。正常蓄水位高程 441 m,相应库容 $3.35 \times 10^8 \text{ m}^3$,死水位高程 430 m,调节库容 $1.42 \times 10^8 \text{ m}^3$,具有季调节能力,最大坝高 74 m,总装机容量为 240 MW。

南欧江五级水电站工程具有工程量大、工期紧的特点,但其施工基本没有准备期。工程进场时,进场道路中的四座桥梁还未形成,道路基层尚未铺筑完成,至昂邓采石场 28 km 的道路亦没有修建,工程前期各项准备工作不能及时到位,严重制约着工程的顺利开展。

该工程于 2012 年 10 月 1 日开工,计划于 2013 年 5 月底完成一枯工程。而该工程在不发达的老挝境内其设备、材料等报关手续尚未办理好,从而严重制约着工程的顺利开展。同时,采石场受道路影响,重型设备无法进入,不能及时进行大面积的弃料剥离和有用料的开采,更谈不上毛

料和砂石骨料的储备;既使两大系统按期投产,砂石骨料的供应仍然是严重制约工程的关键因素。另外,从昂邓采石场到电站大坝约有 70 km 的运距,且毛料运输及砂石骨料的运输路面均为泥结石路面,特别是在雨季,现有条件根本不能承担如此高强度的运输量。

因此,该工程在一枯一汛期间如何保证有足够的混凝土砂石骨料来源并能及时将其运至施工现场、保证供应是制约一枯一汛工程成败最关键的问题。

工程进场后,经参建各方共同探讨,一致同意纵向混凝土围堰只有采用胶凝砂砾石(CSG)才能保证工程工期。但是由于消力池部位纵向围堰受布置空间限制,底宽仅为 24 m,最高部位为 39 m,其结构不能按贫胶砂砾石混凝土结构设计,且混凝土设计抗压强度为 $C_{90}15$,只能采用变态 CSG 混凝土进行施工。

2 CSG 配合比设计

2.1 CSG 主要设计指标

CSG 主要设计指标见表 1。

2.2 富胶 CSG(变态)材料试验及配合比设计

表 1 富胶 CSG(变态)配合比主要设计指标表

| 序号 | 设计强度等级 | 混凝土类型 | 最大粒径 /mm | 粉煤灰掺量 /% | 强度保证率 | 抗渗等级 | V_c 值(s)/ 坍落度 /mm | 相对密实度 /% |
|----|------------|--------|------------|----------|----------|------|------------------------|-----------|
| 1 | $C_{90}15$ | 富胶 CSG | ≤ 250 | 30 | $P=80\%$ | / | 2~12 s | ≥ 96 |
| 2 | $C_{90}15$ | 变态 CSG | ≤ 250 | 30 | $P=80\%$ | W4 | 40~60 mm | / |

富胶 CSG 试验材料采用老挝南欧江河道开采的天然砂砾石料,最大粒径为 250 mm,振实容

重为 1960 kg/m^3 ,表观密度为 2680 kg/m^3 ,振实空隙率为 27%,砂率为 25%,含泥量为 3.5%,所含砂的细度模数为 2.14,其中天然砂砾石混合料

收稿日期:2017-01-10

物理性能试验结果见表 2,天然砂砾石骨料中砂子的颗粒级配曲线见图 1,天然砂砾石颗粒分析筛分结果见图 2。试验所用水泥为越南水泥厂生

产的 P. C 40 水泥,粉煤灰为越南粉煤灰厂生产的 Tro bay I 型粉煤灰,外加剂为双利新型建材有限公司生产的 SL-4 高效缓凝减水剂。

表 2 天然砂砾石骨料物理性能检测结果表

| 序号 | 骨料品种 | 试验项目 | | | | | | | | |
|----|----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|-----------|--------------|-----------|-------------|-----------|
| | | 风干堆积容重 /kg·m ⁻³ | 振实容重 /kg·m ⁻³ | 表观密度 /kg·m ⁻³ | 饱和面干 表观密度 /kg·m ⁻³ | 空隙率 /% | 细度模数 /F·M | 吸水率 /% | 针片状含量 /% | 含泥量 /% |
| 1 | 天然砂砾石 (粒径为 0~250 mm) | 1 800 | 1 960 | 2 680 | 2 570 | 27 | 2.14 | 2.38 | 13 | 3.5 |

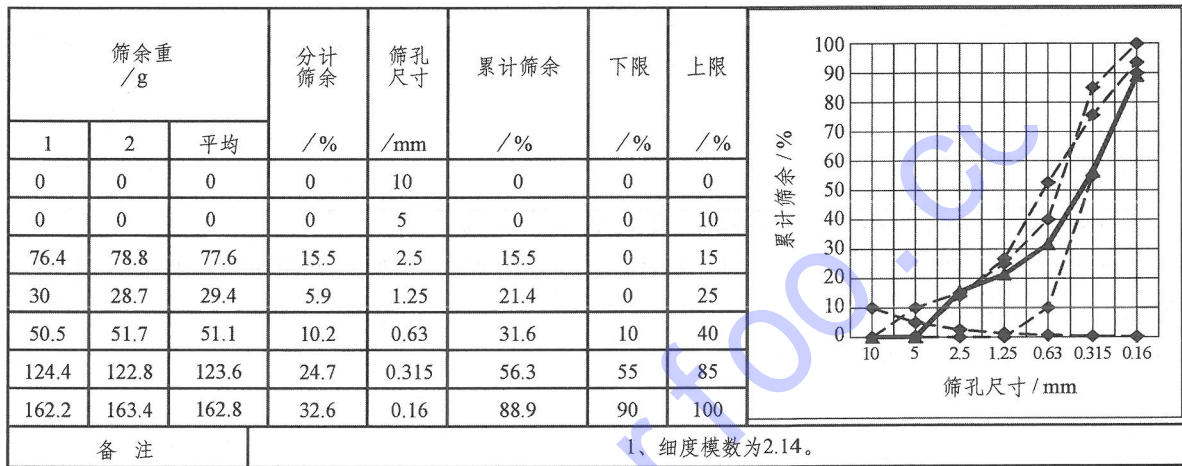


图 1 天然砂颗粒级配曲线图

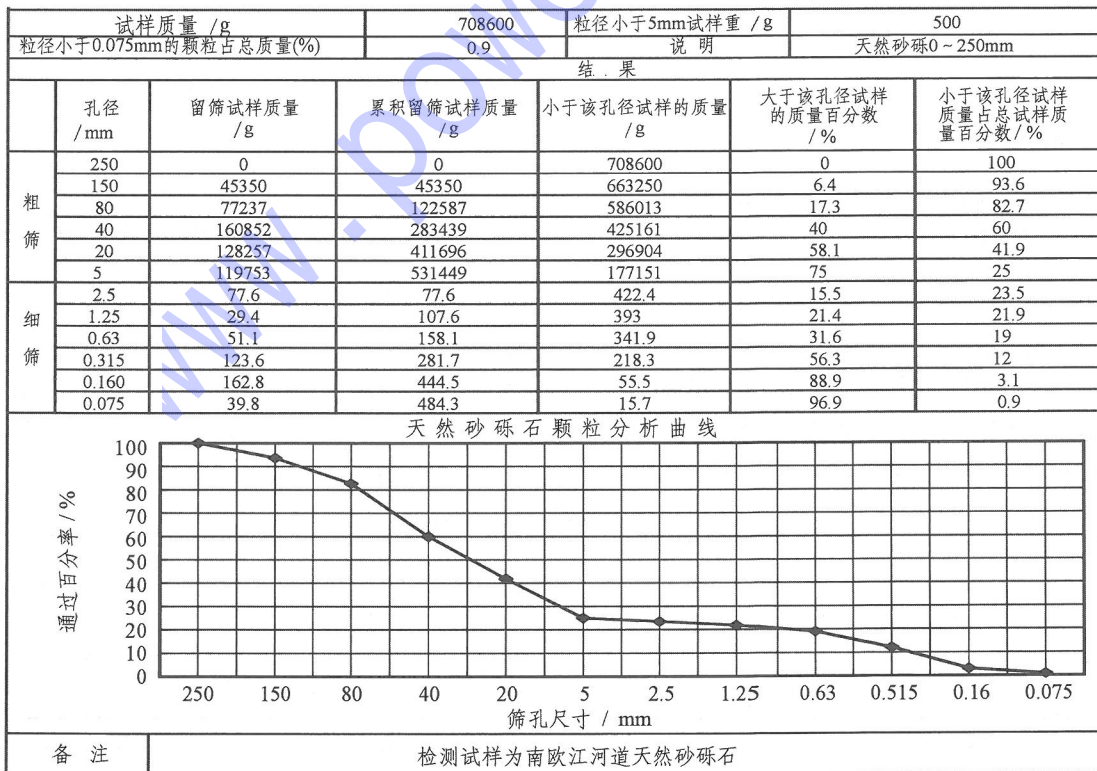


图 2 天然砂砾石颗粒分析检测结果图

2.3 富胶 CSG(变态)室内试配试验

2.3.1 富胶 CSG 室内试拌试验

本次富胶 CSG 配合比设计选择的水胶比为 0.7、0.6、0.5,粉煤灰掺量为 30%,用水量为 115 kg/m³,胶凝材料分别为 164 kg/m³、192 kg/m³、230 kg/m³,以三个不同的水胶比进行室内试配试验。

拌和物容重假定值为 2 400 kg/m³,以将富胶 CSG 拌和物 V_c 值控制在 2~12 s 为原则,其富胶 CSG 配合比室内试拌结果见表 3。本次富胶 CSG 拌和物容重实测平均值为 2 390 kg/m³,配合比较正系数为 0.996。

2.3.2 变态 CSG 室内试拌试验

表 3 富胶 CSG 配合比室内试拌结果表

Table with 11 columns: 编号, 水灰比, 水, 水泥, 粉煤灰, 天然砂砾石, SL-4, Vc 值, 凝结时间, 28 d 抗压强度, 90 d 抗压强度, 备注. Rows 1-3 show different water-cement ratios and their corresponding material quantities and strengths.

备注:富胶 CSG 强度等级为 C₉₀15,粉煤灰掺量为 30%,SL-4 缓凝高效减水剂掺量为 1%。

本次变态 CSG 是以富胶 CSG 为母体,加浆,加浆量为 6%(体积比),目的是使变态后的富胶 CSG 坍落度达到 40~60 mm。变态净浆的水胶

比、粉煤灰掺量、减水剂掺量与母体富胶 CSG 相同,不掺引气剂。变态 CSG 配合比室内试拌结果见表 4。

表 4 变态 CSG 配合比室内试拌结果表

Table with 11 columns: 编号, 水灰比, 水, 水泥, 粉煤灰, 天然砂砾石, SL-4, Vc 值, 凝结时间, 28 d 抗压强度, 90 d 抗压强度. Rows 4-6 show results for different admixture ratios and their effects on slump and strength.

备注:变态 CSG 强度等级为 C₉₀15W4,粉煤灰掺量为 30%,SL-4 缓凝高效减水剂掺量为 1%。

2.4 推荐富胶 CSG(变态)设计配合比

综上所述,笔者根据富胶 CSG(变态)主要设计指标,结合该工程工地原材料的实际情况以及富胶 CSG 生产工艺、生产质量控制水平、施工工

艺,在综合分析了上述试验结果并结合相似工程经验后,推荐的富胶 CSG(变态)设计配合比见表 5、6。

表 5 富胶 CSG 配合比表

Table with 12 columns: 编号, 水泥型号, 设计等级, 配合比, 水胶比, Vc 值, 粉煤灰掺量, 每 m³ 混凝土材料用量, 天然砂砾石, SL-4 高效缓凝减水剂. Row 1 shows the recommended design ratio for CSG.

3 富胶 CSG 筑坝技术

(1)富胶 CSG 所用河道天然砂砾石混合料洁

净且为连续级配料,最大粒径为 250 mm。在天然砂砾石混合料开采时,对于含砂量较高的天然砂

砾石料,应与级配较粗的骨料进行混合,含砂量宜控制在 25%~35% 范围,含泥量不超过 5%。

(2)富胶 CSG 的拌和:通过挖掘机或装载机装料,按体积法简易计量,并在指定的场地采用反铲挖掘机拌和,抓、洒、翻、拌至目测基本均匀,并以手抓细料能粘聚为判断合格的辅助手段。应根据现场的气温、昼夜、阴晴、湿度等气候条件对富

胶 CSG 拌和物 V_c 值实行动态控制,调整用水量,将富胶 CSG V_c 值控制在 2~12 s。

(3)富胶 CSG 的压实:利用振动碾压实至设计容重并达到基本泛浆,形成胶结。富胶 CSG 施工碾压参数通过现场碾压试验后推荐的机械、施工参数见表 7。

4 技术与经济性比较

表 6 变态 CSG 配合比表

| 编号 | 水泥型号 | 设计等级 | 配合比 (胶材:砂砾石:水) | 水胶比 | V_c 值 (s) 坍落度 (mm) | 粉煤灰 掺量 /% | 每 m^3 混凝土材料用量 / $kg \cdot m^{-3}$ | | | | | |
|----|------|--------------------|-------------------|------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------------|-----|--------------------------|-----|--------------------|------|
| | | | | | | | 水泥 | 粉煤灰 | 天然砂砾石 粒径为 0~250 mm | 水 | SL-4 高效缓凝减水剂 掺量 | 用量 |
| 2 | 越南 | C ₉₀ 15 | 1:9.94:0.55 | 0.55 | 2~12 | 30 | 145 | 63 | 2 068 | 115 | 1% | 2.08 |
| | PC40 | W4 | 掺浆量(体积比)6% | | 40~60 | 30 | 46 | 20 | / | 36 | 1% | 0.66 |

表 7 富胶 CSG 铺筑推荐的机械及施工参数表

| 填筑料 | 铺料厚度 /cm | 碾压遍数 (静+振)/n | V_c 值/s | 行车速度 /km·h ⁻¹ | 碾压机械 | 铺料方法 | 搭接宽度 /cm |
|--------|-------------|-----------------|-----------|-----------------------------|------------|------|-------------|
| 富胶 CSG | 50 | 2+8 | 2~12 | 1.0~1.5 | SSR200 振动碾 | 退铺法 | 30~40 |

南欧江五级水电站纵向围堰所采用的 CSG 总量为 14.3 万 m^3 ,其中上游导流明渠部位贫胶 CSG 量为 5.5 万 m^3 ,下游贫胶 CSG 量为 2.7 万 m^3 ,消力池及 10#溢流坝段富胶 CSG 总量为 6.1 万 m^3 。

所采用的富浆胶凝砂砾料经济指标如下:

(1)与人工砂石骨料相比,砂砾料在钻爆开挖及骨料加工方面,每 m^3 混凝土骨料节约费用约 80 元。

(2)针对该工程而言,骨料运输距离平均节约 40 km,每 m^3 混凝土所用骨料按 2.2 t 计算,运费按每 km 1.2 元/t 计算,每 m^3 混凝土所用骨料节约运费为 105.6 元。

(3)由于砂砾料级配的不均匀性,其离差系数较大,每 m^3 混凝土需多用胶凝材料 30 kg,所需费用约 20 元。

综上所述,每 m^3 混凝土采用富胶 CSG 可节约费用约 165.6 元,富胶 CSG 的总量为 6.1 万

m^3 ,总计节约费用约 1 010 万元。

另外,在工期方面,由于料场地质情况与勘探阶段有较大出入,溶蚀溶隙特别发育,夹泥严重,消力池及 10#溢流坝段的混凝土若要等人工砂石骨料,工期至少延后 5 个月以上,所造成的结果将与一枯工程要达到的安全度汛面貌相差甚远,二期截流因故只有推迟一年。

5 结 语

老挝南欧江五级水电站纵向围堰在贫胶 CSG 基础上,结合工程实际情况,对富胶 CSG 筑坝技术开展了试验研究,取得了初步成效,可为今后类似工程提供参考,具有较大的借鉴意义。

作者简介:

苟仕文(1968-),男,四川都江堰人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

施东松(1986-),男,河南南阳人,助理工程师,学士,从事水利水电工程试验检测工作。

(责任编辑:李燕辉)

叶巴滩导流洞工程正式开工建设

2月27日下午,随着右岸导流洞三号支洞第一炮顺利起爆,金沙江上游最大的水电站——叶巴滩水电站导流洞工程正式开工建设。在现场简短的开工仪式上,业主表示叶巴滩水电站导流洞质量要求高,施工难度大,工期任务紧。导流洞工程的正式开工,为保障叶巴滩水电站工程2018年11月初截流和大坝等主体工程开工打下了坚实基础。叶巴滩水电站位于四川与西藏界金沙江上游河段上,是金沙江上游规划“一库十三级”开发方案中装机容量最大的一级水电站,于2016年11月由国家发改委核准建设。目前电站的前期准备工程正在紧张有序的开展,35千伏施工变电站已经竣工,业主营地主体工程完成,降曲河排水洞也于3月2日正式贯通,进场及场内公路建设多点开花,俄德西沟沟水处理工程开工在即。叶巴滩水电站筹建期6个土建标段已全面进场,工程建设已全面铺开。叶巴滩水电站系金沙江上游13个梯级水电站中的第7级,上游为波罗水电站,下游与拉哇水电站衔接。坝址位于金沙江支流降曲河口下游600米处,坝址控制流域面积为17.3万平方公里,多年平均流量839立方米/秒。该电站水库总库容10.8亿立方米,调节库容5.37亿立方米。电站枢纽建筑物由混凝土双曲拱坝、泄洪消能建筑物、引水发电建筑物三大系统组成,具有高水头、大泄量、窄河谷特点。