

莲花水电站大坝防浪墙施工中 PDCA 循环的应用

李 伟<sup>1</sup>,马震岳<sup>2</sup>,王 刚<sup>2</sup>,李剑峰<sup>1</sup>

(1. 中国水利水电第一工程局,吉林 长春 130062 ;2. 大连理工大学土木水利学院,辽宁 大连 116024)

摘要 莲花水电站大坝的防浪墙施工遇到某些施工技术问题。通过对这些问题进行分析总结,应用 PDCA 循环进行施工管理,提高了施工效率和施工质量,很好地解决了施工中的实际问题,取得了良好的施工效果。

关键词 莲花水电站 防浪墙 PDCA 循环

中图分类号 :TV712 文献标识码 :B 文章编号 :1006-7647(2006)S1-0090-03

莲花水电站大坝为面板堆石坝,其防浪墙高 5.0 m,为重力式挡土墙,采用混凝土标号 R200, D250,分 3 期施工,工程量 3 554 m<sup>3</sup>。莲花水电站大坝防浪墙是面板堆石坝坝顶施工中最困难的施工部分,其结构尺寸虽为经济断面,但施工难度较大,出现了质量问题。在施工过程中,分析了诸多施工技术问题,并运用了全面质量管理中的 PDCA 循环<sup>[1-2]</sup>,取得了很好的施工效果。

1 施工中的技术问题

1.1 混凝土级配的选择

大坝防浪墙混凝土属于薄壁混凝土,施工难度较大。经技术经济比较,分三期进行施工 :①Ⅰ期,220.00~223.40 m 高程,1.4 m 范围,其断面尺寸比较大,采用三级配 ;②Ⅱ期,223.40~225.80 m 高程,2.4 m 范围,混凝土级配定为二级配 ;③Ⅲ期,225.80~227.00 m 高程,1.2 m 范围,原设计为二级配,但 30 cm 厚的薄壁墙中,需预埋 4 道管线,占据大部分空间,混凝土难以到达底部,振捣棒难以插入,大颗粒骨料易卡于此,故混凝土级配改为一级配。

三期的混凝土配合比如表 1 所示。按表中数据进行防浪墙混凝土施工,效果良好。

1.2 防浪墙块体整体倾覆性

大坝防浪墙混凝土通仓浇筑。此种薄壁混凝土结构,上游立面,下游斜面,在混凝土侧压力的作用下,防浪墙向上游倾移。针对这种情况,需分期采取措施。对于Ⅰ期,加固锚筋深度,使得浇筑完毕后的Ⅰ期向上游偏移最大仅为 2 cm。对于Ⅱ期,采取悬

臂梁结构,并在对拉筋上又加两道斜拉筋,使得Ⅱ期向上游偏移基本控制在 1 cm 范围内。对于Ⅲ期,采取下游设拉筋的常规方法。

偏移原因首先是因为防浪墙位于河床段,在Ⅱ期混凝土施工过程库区蓄水,导致大坝整体下移 ;再者,一经蓄水,大坝在强大的水压力作用下,产生位移,且位移值大小不一,导致大坝轴线下移,对施工相当不利。

表 1 防浪墙分期施工中混凝土的配合比及相关指标

| 分<br>期 | 525 号<br>水泥/kg | 外加剂/<br>kg | 水/<br>kg | 砂/<br>kg | 骨料/kg  |        |          | 坍落度/<br>cm |
|--------|----------------|------------|----------|----------|--------|--------|----------|------------|
|        |                |            |          |          | 4~8 cm | 2~4 cm | 0.5~2 cm |            |
| Ⅰ      | 279            | 6.2        | 111      | 613      | 664    | 369    | 390      | 7~9        |
| Ⅱ      | 311            | 6.9        | 97       | 676      |        | 736    | 544      | 7~9        |
| Ⅲ      | 298            | 6.7        | 106      | 862      |        |        | 1 083    | 5~7        |

1.3 防浪墙上下游支护

大坝防浪墙上游混凝土面板无支护锚筋,只能在下游支护。Ⅰ期 1.4 m 底座混凝土施工和Ⅲ期 1.2 m 混凝土墙模板支护很好解决,而Ⅱ期 2.4 m 混凝土墙支护需要解决固定问题。

经论证,在Ⅰ期混凝土施工中,距离底座下游面 20~30 cm 左右埋设 80 cm 长的 $\varnothing$ 22 锚筋,用于Ⅱ期下游模板的斜拉,同时利用断面 10 cm $\times$ 10 cm 木方进行支顶。

按以上方案执行,要求下游斜拉筋拉于对拉螺栓附近,效果良好。

2 PDCA 循环在施工中的运用

2.1 PDCA 循环介绍<sup>[1]</sup>

PDCA 循环是全面质量管理基本方法的重要组

成部分。在质量管理过程中,无论是哪个环节或什么内容,都可以分解成4个阶段,即计划、执行、检查和措施,这就是我们所说的 PDCA 循环。

PDCA 循环具有3个特点:

a. 各级质量管理都有一个 PDCA 循环,形成一个大环套小环,一环扣一环,互相制约,互为补充的有机整体。在 PDCA 循环中,上一级的循环是下一级循环的依据,下一级的循环是上一级循环的落实和具体化。

b. 每个 PDCA 循环,都不是在原地周而复始转动,而是像跑楼梯那样,每一转都有新的目标和内容,这意味着质量管理经过一次循环,解决了一批问题,质量水平有新的提高。

c. 在 PDCA 循环中,“A”(措施)是一个循环的关键。这是因为一个循环中,从质量目标计划的制定起,经过质量目标的实施和检查,到找出差距和原因,只有通过采取一定措施,使这些措施形成标准和制度,才能在下个循环中贯彻落实,质量水平才能提高。

一般分8个步骤来保证 PDCA 循环有效地运行,具体内容如图1所示。

3期防浪墙中,其工程能力指数  $C_p$  均出现过小于1.0的情况( $C_p = T/(6S)$ ,其中  $T$  为质量指标的允许范围, $S$  为质量指标测定数据的标准差),所以各期必须分析原因,采取措施。

2.2 PDCA 循环在各期施工中的应用

2.2.1 I 期混凝土施工中的应用

在进行防浪墙 I 期混凝土浇筑过程中,先采用木模板结构。分析认为 I 期混凝土上游模板浇筑过程中,混凝土侧压力的作用可能使上游侧模板发生外胀现象,于是采用打设  $\varnothing 28$  锚筋的方法,斜拉筋加固。对于前缘 50 cm 范围,仍旧采用斜拉筋加固。在大坝防浪墙施工中,对下游 1:3.3 坝坡,能否靠混凝土的自休角达到稳定状态没有太大把握。鉴于此种情况,依据实践经验,不准备下游扣模。第一块混凝土浇筑拆模后,发现 1.4 m 高的底座立墙部分向上游偏移 2 cm,混凝土面粗糙,局部麻面。工程、质检现场分析认为:①向上游偏移 2 cm 的原因是因为锚筋深度不够,设计要求打入垫层料中 90 cm,而实际锚筋仅打入 20~30 cm,而且一部分拉筋拉于钢筋网上;②混凝土面粗糙是因为木模板直接接触混凝土面的结果,虽涂刷 1:3 的柴机油脱模剂,仍难以保

证混凝土表面的光滑度。

针对此情况,提出如下解决方案:要求锚筋具有足够的锚固深度,杜绝焊接钢筋网上的拉筋现象。采用木模板内贴 1 mm 厚的镀锌铁板,或者全部采用定型钢模板进行施工。

按此措施,进行了以后 I 期混凝土施工,未发现上游墙偏移和混凝土面粗糙现象。

2.2.2 II 期混凝土施工中的应用

由于防浪墙 II 期混凝土高 2.4 m,为薄壁结构,对长 14 m 的块体,其向上游的整体倾覆性是很大的。

防浪墙 I 期混凝土前期施工时已用气焊割掉拉螺栓,这样 II 期支模只能采取常规办法。下部设对拉螺栓,未能完全构成悬臂梁结构,再者下游的  $\varnothing 16$  斜拉筋角度接近  $60^\circ$ ,作用不大。第一块混凝土 II 期完成后,其外形轮廓未成直线。针对此种情况,对支模进行了完善,改进措施如下:利用 I 期混凝土中预埋的螺栓杆,使 II 期的底座完全形成固定端,即采取悬臂梁结构的模板形式;同时在底部和中部设两道拉筋。根据结构静定分析,中部成为固定结构,有利于上部稳定。又根据混凝土的侧压力峰值分析,其最大峰值在连续浇筑过程位于下部  $1/3$  附近<sup>[1]</sup>。

采取以上方法进行施工,同时质检部门认真落实检查。从完成 II 期混凝土的情况来看,达到了质量要求,同时 II 期的整体倾覆性得以控制,也为 III 期奠定了基础。

2.2.3 III 期混凝土施工中的应用

在防浪墙 III 期混凝土浇筑过程中,存在两个问题:①对于防浪墙 227.00 m 高程顶部的帽形结构,要求必须保证质量,不要留有钢筋头等痕迹。如果出现这种情况,作为大坝旅游观光的一道风景线,势必影响效果。②由于在 III 期混凝土施工中,预埋的管线比较多,使得厚 30 cm 的薄墙浇筑成为难题。

针对此种情况,与设计 and 监理人员沟通,双方取得共识:①采用卡扣形式,将 III 期木模卡住,这样就不会出现钢筋头现象。或者加高木方,用对拉螺栓固定。②将混凝土级配定为一級配,坍落度由 7~9 cm 调整为 5~7 cm。振捣棒由  $\varnothing 50$  型改为  $\varnothing 30$  型。

III 期防浪墙混凝土施工,正确运用 PDCA 循环,层层把关,以质量为先导,不但保证了质量,而且也加快了进度。

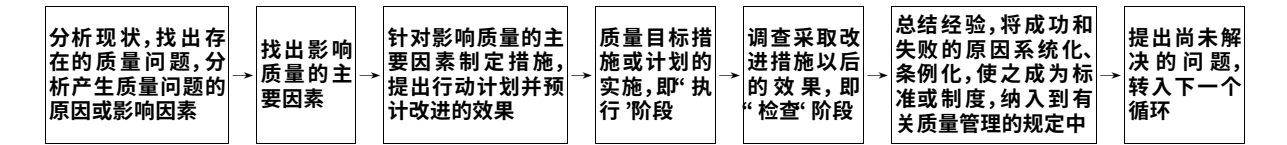


图1 PDCA 循环的一般步骤

3 结 语

- a. 对于防浪墙的施工尤其是Ⅲ期 1.2 m 外露部分,考虑到坝体位移与沉降,PDCA 循环建议在保证下游坝顶路面宽的情况下,参照原设计防浪墙轴线进行合理调整。
- b. 对于防浪墙模板的支护,尤其对于上游无支护点的情况,PDCA 循环建议尽量从下游着手,解决支拉问题。在无法施工情况下,可事先在上游混凝土面板中预埋锚板等。
- c. 对薄壁混凝土施工,选择合理级配,同时要严格控制其坍落度的大小。在大坝防浪墙Ⅲ期混凝土施工中,原坍落度为 7~9 cm,经过几次 PDCA 循环的应用,改为 5~7 cm,效果良好。
- d. 正确分析施工防浪墙难度,根据其截面结构形式进行合理的分期工作,使得支模、钢筋安装、混凝土浇筑等在合理工序下进行作业。从施工中 PDCA 循环情况来看,大坝防浪墙分 3 期施工,基本合理,建议Ⅱ期 2.4 cm 范围应适当放小一些。
- e. 防浪墙的混凝土施工应和坝体填筑、下游坝顶路面施工进行合理交叉作业。在匹配施工过程

(上接第 85 页)  
碳化等破坏。混凝土的抗冻性是评定混凝土耐久性的综合指标。碾压混凝土抗冻性能试验结果见表 6,试验结果表明:碾压混凝土掺用高效减水剂和引气剂后,其 90 d 龄期的抗冻标号均可达到 F50。

表 6 碾压混凝土抗冻性能试验结果

| 编号 | 粉煤灰<br>掺量/% | 级配 | 砂品种 | 各循环次数相对<br>重量损失/% |     |     | 各循环次数相对<br>动弹性模量/% |      |      | 抗冻<br>标号 |
|----|-------------|----|-----|-------------------|-----|-----|--------------------|------|------|----------|
|    |             |    |     | 0                 | 25  | 50  | 0                  | 25   | 50   |          |
| 1  | 40          | 二  | 下岸溪 | 0                 | 0.2 | 0.1 | 100                | 90.5 | 88.1 | > F50    |
| 3  | 55          | 二  | 下岸溪 | 0                 | 0.5 | 0.5 | 100                | 87.4 | 82.9 | > F50    |
| 5  | 65          | 二  | 下岸溪 | 0                 | 0.1 | 1.6 | 100                | 91.9 | 87.8 | > F50    |
| 6  | 40          | 二  | 古树岭 | 0                 | 0.1 | 0.6 | 100                | 93.5 | 91.2 | > F50    |
| 8  | 55          | 二  | 古树岭 | 0                 | 0.1 | 0.2 | 100                | 92.4 | 86.9 | > F50    |
| 15 | 65          | 小三 | 下岸溪 | 0                 | 0.4 | 0.9 | 100                | 89.6 | 86.8 | > F50    |
| 21 | 40          | 三  | 下岸溪 | 0                 | 0.1 | 0.4 | 100                | 91.9 | 87.8 | > F50    |
| 23 | 55          | 三  | 下岸溪 | 0                 | 0.1 | 0.4 | 100                | 91.5 | 92.3 | > F50    |
| 25 | 65          | 三  | 下岸溪 | 0                 | 0.5 | 0.8 | 100                | 85.4 | 76.3 | > F50    |

注 水胶比均为 0.50。

4 结 语

- a. 极限拉伸值和抗渗标号,尤其是 28 d 龄期,对碾压混凝土的配合比参数的选择起控制作用。
- b. 对 R<sub>90</sub>150 和 R<sub>90</sub>200 d 的碾压混凝土,水胶比可分别采用 0.53 和 0.50,设计标号 R<sub>90</sub>150 的碾压混

- 中,合理运用科学管理手段进行微、宏观控制。多次 PDCA 循环的实践后,莲花水电站坝顶施工考虑为:防浪墙Ⅰ,Ⅱ期自右向左施工,坝体填筑在Ⅱ期结束后进行,并事先预留回车处。Ⅲ期自右向左随填筑进行施工。路面混凝土可以考虑和Ⅲ期同步进行。
- f. PDCA 循环运用要求防浪墙分期支模,对于Ⅱ,Ⅲ期的支模结构形式,应全部采用悬臂梁结构,这样对其整体倾覆性等方面都有所保证。
- g. 防浪墙施工过程应建立一套科学合理的管理体系。莲花水电站大坝防浪墙运用了全面质量检查中的 PDCA 循环,取得了很好的效果。同时成立了一个协调组<sup>[2]</sup>,负责大坝坝顶各家施工单位的协调工作,使得施工得以顺得进展。

参考文献:

[1] 白海萍,来延肖,韩建明.混凝土质量相关因素分析及施工过程控制[J].西北建筑工程学院学报,1999,2(1):15-19.  
[2] 焦雷,翟国政.施工质量的研究与控制技术在模板工程中的应用[J].四川建筑科学研究,2004,30(4):114-116.  
(收稿日期 2005-09-14 编辑 熊水斌)

- 凝土,粉煤灰的掺量可选 55%~60%,设计标号 R<sub>90</sub>200 的混凝土粉煤灰的掺量可选 50%~55%。设计标号为 R<sub>28</sub>150 和 R<sub>28</sub>200 的碾压混凝土,水胶比可分别采用 0.50 和 0.45,粉煤灰掺量可选 40%~50%。
- c. 同水胶比、粉煤灰掺量的前提下,胶凝材料用量对混凝土的绝热温升有较大影响,二级配混凝土和三级配变态混凝土的胶凝材料用量接近,绝热温升相当,三级配碾压混凝土的胶凝材料用量比二级配低,绝热温升也相对较低。
- d. 碾压混凝土的干缩随粉煤灰掺量的增加和胶材用量的减少明显降低。
- e. 碾压混凝土 90 d 龄期的抗冻标号均可达到设计要求。

参考文献:

[1] 杨华全,王迎春,李家正,等.三峡工程大坝混凝土的配合比优化设计试验研究[J].混凝土,2002(11):29-31.  
[2] 杨华全,李家正,董维佳,等.三峡工程三期围堰碾压混凝土试验研究[J].长江科学院院报,2004,21(2):6-9.  
[3] 杨华全,陈少雄,黎敏珠.碾压混凝土长龄期的变形性能试验研究[J].长江科学院院报,1998,15(1):6-9.  
(收稿日期 2006-02-21 编辑 熊水斌)