

二级坝泵站主厂房混凝土整体结构设计

高峰,李清华,李玉莹,王永强

(山东省水利勘测设计院,山东 济南 250014)

摘要:为了解决深埋于地下的大型泵站主厂房采用分缝结构存在的侧向稳定和缝内止水渗漏问题,南水北调东线一期工程二级坝泵站主厂房结构采用了不分缝的整体结构。对分缝方案和整体结构方案进行了有限元分析计算,并对整体结构方案进行了底板温度应力分析计算,计算结果表明:整体结构方案具有受力合理、应力水平低、结构沉降均匀且较小、侧向稳定能自身平衡、工程投资较省等优点。二级坝泵站主厂房主体结构完工后经历了两个完整冬季,底板未发现可见混凝土裂缝,其他部位未见有害贯穿性裂缝。

关键词:整体结构;分缝结构;温度应力;混凝土;应力水平;沉降;二级坝泵站;南水北调东线工程
中图分类号:TV675 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2013)02-0051-04

Overall structural design of concrete for power house of Erjiba Pumping Station //GAO Feng, LI Qinghua, LI Yuying, WANG Yongqiang (Shandong Water Conservancy Survey and Design Institute, Jinan 250014, China)

Abstract: To solve the problem of lateral stability and sealing leakage of the power house of deep, buried, large pumping stations with a parting structure, the power house of the Erjiba Pumping Station of the Eastern Route Project of South-to-North Water Diversion adopts the overall structure without the parting structure. The schemes of the parting structure and overall structure were analyzed and calculated by means of the finite element method. The temperature stress on the bottom plate for the latter scheme was analyzed. The calculated results show that the scheme of the overall structure has advantages such as a rational force, a low stress level, uniform and small settlement, lateral stability and self-balance, and economical project investment. The power house of the Erjiba Pumping Station has undergone two compete winters after the completion of the main structure, and neither visible concrete cracks on the bottom plate nor harmful penetrated cracks on other locations have been found.

Key words: overall structure; parting structure; temperature stress; concrete; stress level; settlement; Erjiba pumping station; Eastern Route Project of South-to-North Water Diversion

南水北调东线工程基本任务是从长江下游调水,向黄淮海平原东部和山东半岛补充水源,与南水北调中线、西线工程一起,共同解决我国北方地区水资源紧缺问题。东平湖是东线工程最高点,第一期工程从长江至东平湖设13个调水梯级共34座泵站,其中新建21座泵站。对东线工程而言,泵站工程建设的好坏决定了南水北调东线工程的成败,对泵站结构稳定性、安全性、耐久性和经济性进行研究意义重大。

GB/T 50265—2010《泵站设计规范》规定土基上伸缩缝间距不宜大于30 m、岩基上间距不宜大于20 m,因此我国大型泵站大多采用分缝的结构方案。在后期运行中发现伸缩缝往往成为这些泵站漏水的主要通道,且难以进行维修堵漏,成为影响泵站正常

运行的重要问题^[1-2]。对于深埋于地下的大型泵站主厂房采用分缝方案还存在以下主要问题:①两侧结构均有一侧临空,结构侧向稳定问题难以解决;②结构应力水平较高,应力集中现象明显;③地基沉降不均匀。

随着混凝土材料和裂缝控制技术研究的发展及人们对混凝土裂缝产生机理认识的加深,混凝土材料性能和施工管理水平逐步提高,各类建筑物(构筑物)的伸缩缝间距越来越大,尽量少设缝或不设缝成为混凝土结构的一种发展趋势,一批超长超大混凝土结构陆续建成,取得很好的效果^[3-10]。各类成功的工程实践,为泵站主厂房混凝土结构的无缝设计提供了宝贵的经验,但到目前为止,大型泵站鲜见整体结构设计工程实例,更缺乏系统、全面的设计研究。

1 方案设计

南水北调东线一期工程二级坝泵站枢纽工程位于山东省微山县欢城镇境内,是南水北调东线工程的第 10 级抽水梯级泵站,也是山东境内的关键性控制工程。工程规模为大(1)型,泵站等别为 I 等。装机 5 台套后置式灯泡贯流泵(1 台备用),设计输水流量为 $125\text{ m}^3/\text{s}$,设计净扬程 3.21 m ,单机流量 $31.5\text{ m}^3/\text{s}$,单机功率 $1\,650\text{ kW}$ 。多年平均设计装机利用时间 $4\,364\text{ h}$ 。

泵站采用块基型,共分为 4 层,地上 1 层,地下 3 层。地上 1 层由排架和屋顶大梁组成;地下 1 层布置变频器等电气设备,地下 2 层布设油泵、机旁箱等设备,地下 3 层为流道水泵层。主厂房底板厚 1.60 m (局部厚达 4.20 m)。在进水流道前设检修门一道,出水流道后设有作为泵站出口断流的油压启闭机控制的快速闸门和作为保护的备用事故检修门。基础位于第⑦层壤土夹礞石层,其修正后承载力特征值为 187 kPa ,地基条件较好。

主厂房在初步设计时采用常规的分缝方案,如图 1 所示。垂直水流向分为 2 块:右侧 3 个泵组为一联,左侧 2 个泵组加上安装间为一联,中间设 1 条伸缩缝,2 块长均为 28.30 m ,总长 56.60 m 。顺水流向主厂房与快速闸门间设 1 条伸缩缝,主厂房和快速闸门的长度分别为 34.00 m 和 9.80 m 。底板分为 4 块,最大块 $28.30\text{ m}\times 34.00\text{ m}$,最小块 $28.30\text{ m}\times 9.80\text{ m}$ 。

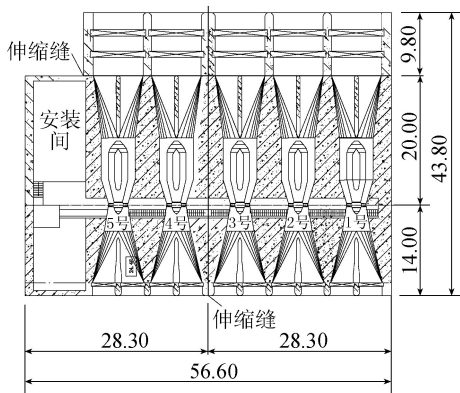


图 1 分缝方案平面布置(单位:m)

工程施工图设计阶段,在充分调研和分析计算的基础上,提出整体结构方案:取消顺水流向和垂直水流向的伸缩缝,泵站主厂房结构形成一个整体,顺水流向长 41.80 m ,垂直水流向长 55.98 m ,详见图 2。

2 分缝方案和整体结构方案比较

为比较两种方案的优缺点,对分缝方案和整体结构方案进行了分析计算。

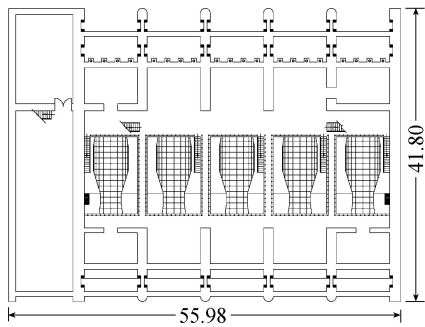


图 2 整体结构方案平面布置(单位:m)

2.1 内力与沉降计算分析

采用通用有限元程序,对两个方案进行了内力和沉降计算。

计算中采用参数如下:地基土的弹性模量为 40 MPa ;回填土湿密度 1.94 g/cm^3 ,饱和密度 2.04 g/cm^3 ;混凝土强度等级 C30,弹性模量 30 GPa ,泊松比 0.2 ,密度 2.55 g/cm^3 ;水泵荷载按泵的装机图选取。

计算工况选施工完建(泵房内外均无水)和正常运行(泵站进水池水位 30.89 m ,出水池水位 34.10 m)两种工况。计算模型除主厂房外,地底板向下取 25 m ,泵房前后左右除去开挖回填部分各取 30 m ,地基地部加三向约束,四周加水平约束。

选用右手坐标系, x 坐标取顺水流方向, y 坐标竖直向上, z 坐标垂直水流方向。

分缝方案选择三机一联的 $28.30\text{ m}\times 34.00\text{ m}$ 块作为计算单元,计算模型见图 3,整体结构方案计算模型见图 4。计算结果见表 1 和表 2。

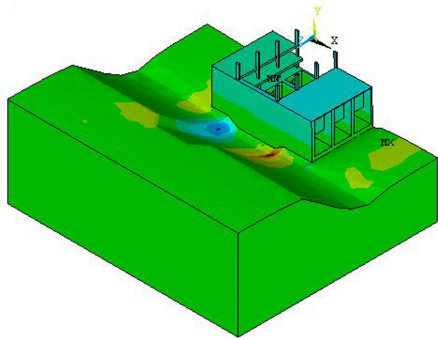


图 3 分缝方案计算模型

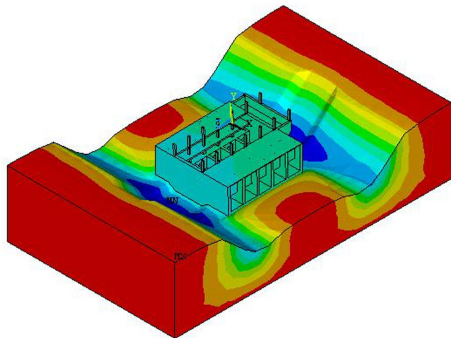


图 4 整体结构方案计算模型

表1 分缝方案主厂房的应力和位移(三机一联)

工 况	位移/mm			正应力/MPa			基地应力/kPa
	x 向	y 向	z 向	x 向	y 向	z 向	
施工完建	-10 ~ 0	-81 ~ -60	-5 ~ 0	-3.04 ~ 1.67	-7.21 ~ 2.55	-9.75 ~ 4.26	181 ~ 213
正常运行	-12 ~ 1	-131 ~ -90	-25 ~ 1	-14.91 ~ 10.56	-23.89 ~ 8.85	-31.32 ~ 16.29	96 ~ 171

表2 整体结构方案主厂房的应力和位移

工况	y 向 位移/ mm	正应力/MPa			基地 应力/kPa
		x 向	y 向	z 向	
施工完建	-74 ~ -61	-3.24 ~ 1.35	-4.97 ~ 1.75	-5.97 ~ 3.80	163 ~ 177
正常运行	-62 ~ -54	-3.39 ~ 3.19	-8.79 ~ 1.87	-7.87 ~ 3.40	67 ~ 133

经综合分析可知,整体结构方案与分缝结构方案相比,具有以下优势:

a. 整体结构方案受力合理、均匀。整体结构方案最大应力(拉应力)3.80 MPa,远小于分缝方案最大应力(拉应力)16.29 MPa。

b. 整体结构方案沉降均匀,沉降量小,沉降差小,对工程运行和设备耐久性有利。整体结构方案最大竖向位移 74 mm,最小 54 mm,两者比值为 1.37,沉降差 20 mm。分缝结构方案最大竖向位移 131 mm,最小 90 mm,两者比值为 1.46,沉降差 41 mm。

c. 整体结构方案平均地基应力水平低,施工完建期最大地基应力 177 kPa,小于分缝方案的 213 kPa,天然地基承载力满足要求。

d. 整体结构方案两侧土压力相互平衡,与分缝方案相比,不存在主厂房侧向稳定问题,无需专门的措施,降低了工程造价。

e. 整体结构方案由于中间不设缝,不会发生止水漏水等难以处理的问题;取消中间止水,减少了施工工序,施工难度有所降低。

f. 由于取消了伸缩缝,整体结构方案的抗震性能优于分缝方案的抗震性能。

2.2 经济比较

泵站主厂房分缝方案与整体结构方案的投资比较见表 3,表中项目为两方案相同项目以外的差异项对比。

表3 分缝方案与整体结构方案投资对比

比较内容	分缝方案		整体结构方案	
	工程量/ m ³	投资/ 万元	工程量/ m ³	投资/ 万元
两侧边墙后回填水泥石土	27 697	276.97		
两侧边墙后回填普通土	1 0604	12.72	36 796	44.16
地基处理土方开挖	6 541	7.85		
地基处理回填水泥石土	5 036	50.36		
缝墩混凝土	144	12.96		
伸缩缝侧增加排架	43	6.45		

分缝方案总投资为 367.31 万元,整体结构方案

总投资为 44.16 万元,整体结构方案可节约投资 323.15 万元。

根据以上分析可知,从整体稳定、结构受力、地基沉降、工程措施和工程投资方面来看,整体结构设计方案均优于分缝设计方案。

3 整体结构方案底板温度应力计算

整体结构方案底板混凝土方量大,为验证整体浇筑的可行性,对底板的温度应力进行了计算。混凝土设计指标:强度等级 C30,抗冻标号 F150,抗渗标号 W8。考虑不利的施工气象条件,取泵站附近实测冬季大幅降温资料,温度由 10℃ 降至 5℃。考虑底板厚度的影响,取 1.60 m、3.00 m 和 4.00 m 共 3 种板厚分别计算。在温度应力计算中,主要考虑基础总降温差引起的外约束应力。总降温差偏于安全的取水化热最高温升冷却至某时的环境温差(为偏于安全,计算中取 5℃),将总降温差分成台阶式降温(步距 3 d)计算。计算结果见表 4。

表4 各种板厚的温度应力

板厚/m	温度应力/ MPa	允许应力/ MPa	安全系数	是否满足 要求
1.60	1.021	1.43	1.40	是
3.00	0.779	1.43	1.84	是
4.00	0.763	1.43	1.87	是

由表 4 可见,在温度应力作用下,不同厚度的底板均满足抗裂要求,主厂房混凝土整体结构设计是合理可行的。

4 施工控制措施

根据工程混凝土特点,在施工中重点采取了以下措施:

a. 确定合理的配合比。目的是降低水化热温升,适当延长凝结时间,减小混凝土收缩。采取的措施有:降低水泥用量,掺加矿物掺和料;使用缓凝型高效减水剂;控制好混凝土入模温度。

b. 掌握正确的施工方法。目的是防止离析,尽量减少塑性裂缝。采取的措施有:斜面分层浇筑;避免过振产生离析;用木抹子多次搓面防止产生塑性裂缝。

c. 严格执行保温保湿养护制度。目的是控制混凝土内表温差,防止在混凝土早龄期发生干缩。

采取的措施有:覆盖保温材料,混凝土入模温度小于 32℃,里表温差小于 20℃,每天降温速率小于 1.5℃。在混凝土早龄期保持潮湿,推迟干缩发生。

d. 认真测温,随时监控混凝土内温度。采取的措施有:浇筑前在混凝土占据的空间内布置测温点,在凝结后的整个养护期内,定时测定混凝土内各部位温度,以确保控制在计划范围之内。万一发生异常情况,可及时采取补救措施。

e. 采用“跳仓法”浇筑混凝土。在长度方向划分合适的仓段跳仓浇筑。实践证明这是减少混凝土有害裂缝的有效方法。

5 工程实施效果

作为国内少有的整体结构大型泵站,本工程的设计、施工得到各级领导和各参建单位的关心和支持,在工程开工建设前组织了多次工程实施方案专家论证会。在充分组织准备的基础上,主厂房工程于 2009 年 5 月开始浇筑底板混凝土,同年 8 月浇筑完流道层,10 月主体结构封顶。现场实测表明,各测点沉降值均匀且较小(17~30 mm)。

至今,工程已经历两个完整的多年未遇寒冷冬季,未发现贯穿性有害裂缝,工程质量良好,达到了预期目标。

6 结 语

大型泵站主厂房整体结构方案受力合理,应力水平低,结构沉降均匀且较小,侧向稳定能自身平衡,不存在止水和抗震裂缝处理问题,工程投资较省。底板温度计算表明,主厂房混凝土整体结构设计是合理可行的。二级坝泵站主厂房主体结构完工后经历了两个冬季的降温考验,底板未发现可见混凝土裂缝,其他部位未见有害贯穿性裂缝。本工程的设计经验可为相近工程的设计提供宝贵经验。

参考文献:

[1] 唐金平. 樊口泵站混凝土裂缝及沉降缝渗漏处理技术[J]. 长江科学院院报, 2008, 25(6): 110-112. (TANG Jinping. Leakage processing technology on concrete cracks & settling seams in Fankou pumping station[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2008, 25(6): 110-112. (in Chinese))

[2] 蔡春梅, 吴文鑫. 东江水源工程提升泵房渗漏原因分析及处理[J]. 中国农村水利水电, 2009(6): 90-91. (CAI Chunmei, WU Wenxin. Dongjiang water source project of pump leakage reasons analysis and treatment [J]. China Rural Water and Hydropower, 2009(6): 90-91. (in Chinese))

[3] 王小青, 席燕林. 巴帕南水闸闸墩整体浇筑温度应力研究[J]. 华北水利水电学报, 2001, 22(4): 12-16. (WANG Xiaoqing, XI Yanlin. Thermal stress of Pak Phanang barrage pier[J]. Journal of North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, 2001, 22(4): 12-16. (in Chinese))

[4] 马跃峰, 朱岳明. 表面保温对施工期闸墩混凝土温度和应力的影响[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2006, 34(3): 276-279. (MA Yuefeng, ZHU Yueming. Effect of surface heat preservation on temperature and stress of pier concrete during construction period[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2006, 34(3): 276-279. (in Chinese))

[5] 谷胜利, 马跃先, 张天航. 后浇带施工技术在泄洪闸闸墩防裂中的应用[J]. 人民黄河, 2005, 27(12): 72-73. (GU Shengli, MA Yuexian, ZHANG Tianhang. Application of after-pouring construction technology in reservoir pier crack control[J]. Yellow River, 2005, 27(12): 72-73. (in Chinese))

[6] 李守巨, 刘迎曦, 范永思, 等. 混凝土大坝闸墩开裂机理及其加固措施[J]. 水利学报, 2004(3): 93-97. (LI Shouju, LIU Yingxi, FAN Yongsu, et al. Cracking mechanism of pier in concrete dam and its remediation [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2004(3): 93-97. (in Chinese))

[7] 袁勇. 混凝土结构早期裂缝控制[M]. 北京: 科学出版社, 2004.

[8] 王铁梦. 工程结构裂缝控制[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.

[9] PITRO L, OLE M J, VAN BRUGEL K. Autogenous shrinkage in high-performance cement paste: an evaluation of basic mechanisms[J]. Cement and Concrete Research, 2003, 33: 223-232.

[10] BERNARD O, ULM F J, GERMAINE J T. Volume and deviator creep of calcium-leached cementbased materials [J]. Cement and Concrete Research, 2003, 33: 1127-1136.

(收稿日期: 2012-05-30 编辑: 熊水斌)

