

# 文登抽水蓄能电站蜗壳水压试验工艺及缺陷处理

蒋佳驰

(中国水利水电第五工程局有限公司 四川 成都 610066)

**摘要:**介绍了文登抽水蓄能电站蜗壳水压试验设备的安装及试验步骤,阐述了首台机组蜗壳水压试验过程中遇到的设备缺陷问题,对其进行了分析研究并提出了有效的解决方案,所取得的经验可供类似工程参考。

**关键词:**文登抽水蓄能电站;蜗壳水压试验;封水环;密封条;试验工艺;缺陷处理

中图分类号:TV7;TV52;TV737;TV738

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2023)03-0090-05

## Discussion on Hydrostatic Test Technology and Defect Treatment of Volute in Wendeng Pumped Storage Power Station

JIANG Jiachi

(Sinohydro Bureau 5 Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610066)

**Abstract:** This paper introduces the installation and test steps of the volute hydrostatic test equipment of Wendeng Pumped Storage Power Station. The equipment defects encountered during the hydrostatic test of the volute of the first unit are described. And effective solutions are put forward, which could provide reference for similar projects.

**Key words:** Wendeng Pumped Storage Power Station; volute hydrostatic test; water sealing ring; sealing strip; test technology; defect treatment

### 1 概述

抽水蓄能电站作为新型电力系统不可或缺的平衡器、稳定器和调节器,将会成为构建清洁低碳、安全可靠、智慧灵活、经济高效新型电力系统中的中坚力量。根据国家能源局近期发布的抽水蓄能中长期发展规划(2021~2035年),鉴于电力负荷持续增长、电力系统峰谷差逐渐加大、电力系统灵活调节电源的需求越来越大,因此,构建以新能源为主体的新型电力系统对抽水蓄能的发展提出了更高的要求。随着抽水蓄能电站的开发速度越来越快,其水泵水轮发电机组制造和安装质量面临的压力不容忽视,特别是水泵水轮机的运行水头和转速越来越大,工况转换频繁,为适应水泵水轮机的运行特点,保证机组运行的稳定性,蜗壳水压试验和保压浇筑关键工序的质量就显得至关重要<sup>[1]</sup>。

文登抽水蓄能电站位于山东省威海市文登区界石镇境内,安装6台、单机容量为300 MW的单级混流可逆式水泵水轮机组,总装机容量为1800 MW,主机设备由哈尔滨电机厂有限责任公

司生产。蜗壳水压试验的目的是检验蜗壳设计的合理性、安装质量的可靠性,以实现消除焊接应力、实现蜗壳与外包钢筋混凝土联合受力的重要保障措施<sup>[2]</sup>。

文登项目的蜗壳水压试验系按照哈尔滨电机厂有限责任公司提供的图纸要求分阶段进行,试验压力上升和下降的速度 $\leq 0.1$  MPa/min,试验的设计工作压力为7.989 MPa,试验的最高压力为1.5倍设计工作压力(即11.983 MPa),蜗壳保压压力为4 MPa。试验用的主要专用设备包括:试验闷头、封水环和专用打压设备。如何保证在高压下不发生水流渗漏现象、同时保证试验的一次成功率给项目部水压试验设备的安装步骤、工艺及试验流程提出了较高的要求。

在文登抽水蓄能电站首台机蜗壳水压试验设备安装过程中,项目部技术人员发现其封水环下部平面密封条安装后整圈均出现外露情况,对此,若不采取有效措施,其下部密封结构就会在水压试验过程中出现严重的渗水现象,同时对试验设备及试验人员造成安全隐患。为

收稿日期:2023-04-10

有效解决密封结构渗水问题,项目部技术人员提出了两种解决方案。

## 2 封水环缺陷处理方案的研究

### 2.1 封水环原设计结构形式

文登抽水蓄能电站蜗壳水压试验封水环最大外径为 6 360 mm,高度为 836 mm。根据厂家设计说明书及结构图,封水环与座环上法兰面、座环下镗口之间均设置有密封止水槽,其中在封水环与上法兰面处周向设置了一处平面密封,在封水环与下镗口周向设置了一处平面密封、径向设置了一处径向密封。水压试验前,封水槽内均安装有直径 12 mm、硬度为 90 邵尔的耐油橡胶密封条。封水环经现场实际装配后发现其封水环下部密封槽位置分布圆直径比设计尺寸小 12 mm,同时在复测座环与封水环径向间隙时发现直径 12 mm 的密封条其局部的实际最小压缩率不到 2%,实际最大压缩率为 15%,其压缩率偏小,进而严重影响到密封效果。针对封水环缺陷,技术人员提出了以下两种处理方案。

### 2.2 缺陷处理方案一

由于首台机组水压试验工期较紧,为缩短处理时间且保证密封效果,主要采用增大径向密封条直径和新增两道径向密封条的方式进行处理以提高径向密封条的密封效果,阻断大部分试验高压水从径向间隙流入到封水环与下镗口平面密封处,同时通过合理增大封水环与座环下镗口连接固定螺栓预紧力的方式以保证螺栓有足够的残余预紧力来压紧高硬度的平面密封条,从而确保密封条在试验过程中始终保持在压紧状态,进而极大地提高了密封性能。具体方案为:

(1)经综合计算分析后,将直径 12 mm 的密封条更换成直径 13 mm 的密封条,从而将局部最小压缩率提高至 10%,最大压缩率提高至 22%。其径向密封更换位置情况见图 1。

(2)如图 2 所示,增加了两道径向密封条,其中底部下层密封采用直径 9 mm 的密封条,其理论压缩率为 23%;底部上层密封采用直径 7 mm 的密封条,其理论压缩率为 28%。新增径向密封布置位置见图 2。

(3)在安装新增两道径向密封条之前,采用人工的方式打磨座环底部空刀槽倒圆角 R1.5 和封水环底部外侧倒圆角 R20,不允许有尖角和毛刺

存在。

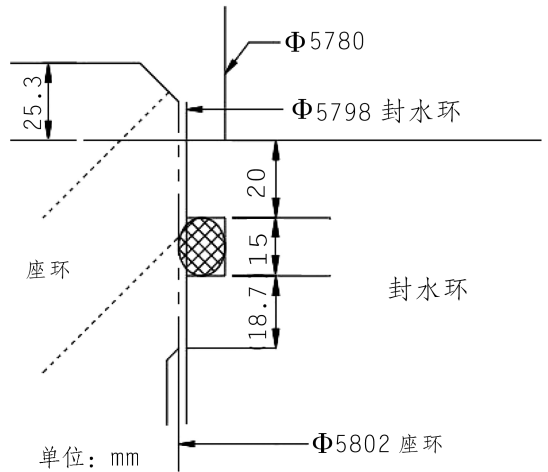


图 1 径向密封更换位置示意图

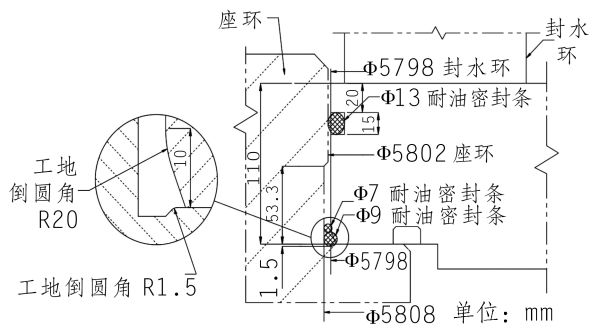


图 2 新增径向密封布置位置示意图

(4)先按照安装顺序将底部的径向密封条(先安装直径 9 mm 的密封条,后安装直径 7 mm 的密封条)粘接整圆后固定在座环上,然后安装封水环上下平面密封并采取有效措施以防止密封条损坏。

(5)封水环吊入安装位置后,测量座环与封水环之间的径向间隙,在将圆周方向的间隙调整均匀后,再预紧封水环连接的固定螺栓,将螺栓预紧力由 660 kN 提高至 950 kN。

缺陷处理方案一的优点是处理时间短,仅需 2~3 d,且其花费的成本较低;缺点是对手工处理过程的工艺控制标准较高,任何一个环节出现差错都会导致试验失败。

### 2.3 缺陷处理方案二

采用将封水环返厂重新加工密封槽的方式进行处理。但采用该方案处理需要的时间较长。该电站后续几台机组采用了重新加工密封槽的封水环进行相应的水压试验,其具体的处理措施为:

(1)与座环上、下环板配合表面的加工深度为密封槽深度即可且不大于 10 mm,能够保证其与

座环的配合尺寸满足设计要求。加工前的尺寸见图 3,加工后的尺寸见图 4。

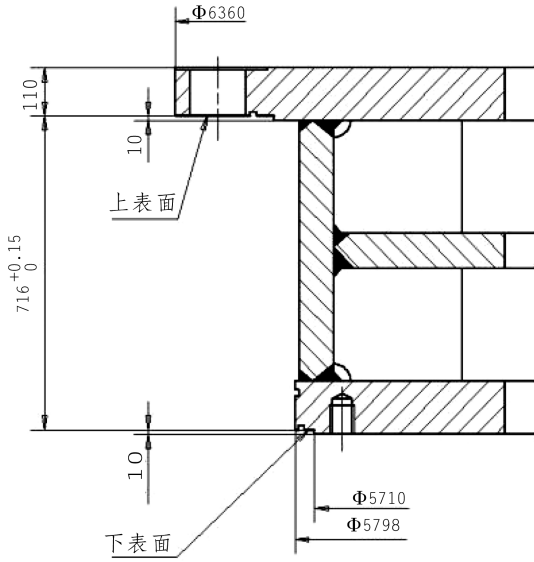


图 3 上、下表面加工前尺寸示意图

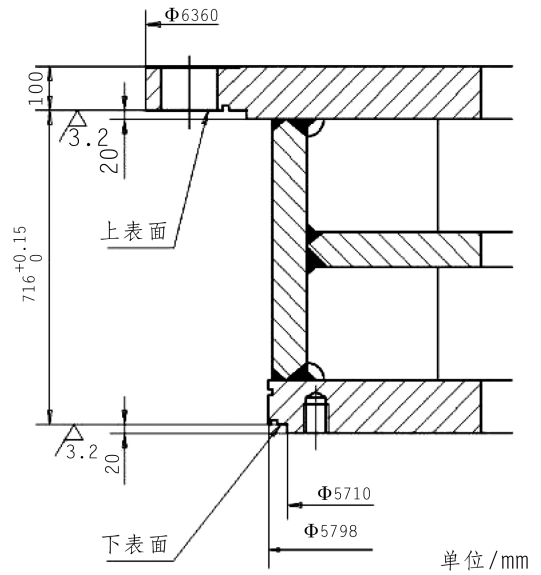


图 4 上、下表面加工后尺寸示意图

(2)加工上、下表面两处密封槽。其上、下表面密封槽加工情况见图 5。

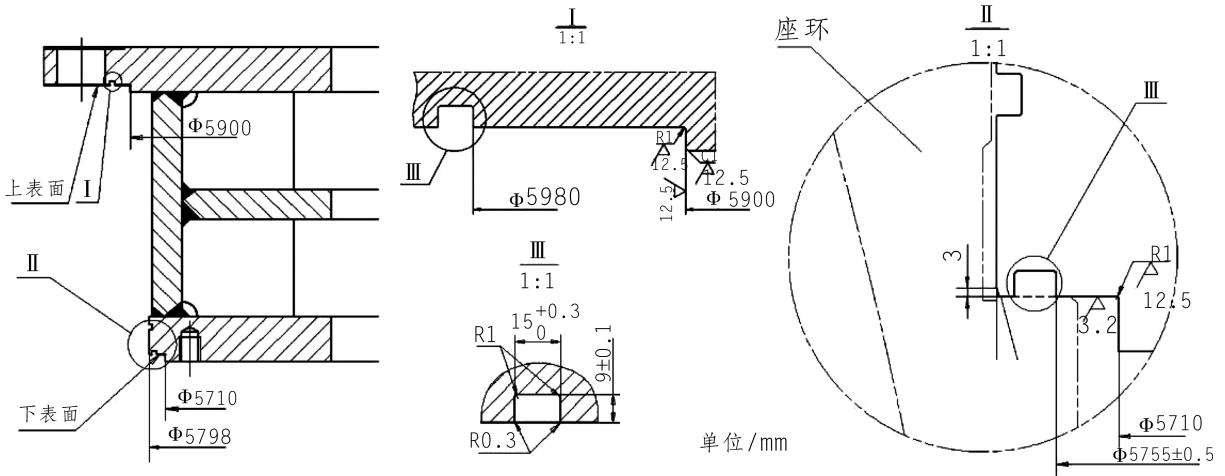


图 5 上、下表面密封槽加工图

(3)封水环返厂修理完成后,根据设计要求进行封水环的安装。

缺陷处理方案二的优点是返厂采用机械加工的方式处理缺陷从根源上解决了问题,做到了一劳永逸;缺点是返厂处理时间长达一个月,时间较长且花费的成本较高。

### 3 水压试验设备的安装

#### 3.1 试验闷头的安装

试验闷头与蜗壳之间采用螺栓连接结构。首先清除各法兰面的铁锈、油污等杂质,然后安装法兰面处的密封条,最后利用厂房桥机将试验闷头吊至安装位置并安装连接螺栓。连接螺栓需利用

专用工具对称均匀分三次预紧,第一次按照 50% 的设计拉伸值(0.33 mm)预紧,第二次按照 80% 的设计拉伸值(0.53 mm)预紧,第三次预紧至 100% 的设计拉伸值(0.66 mm)。

#### 3.2 封水环的安装

封水环分两瓣到货。安装前先将封水环进行组拼,组拼完成后对组合缝进行封焊处理。安装前对封水环及座环上、下环板进行彻底的清理,不允许有尖角及毛刺存在,然后分别将密封条放入封水环的上、下环板底面及侧面密封槽内并涂上黄干油,然后利用厂房内 250 t 的桥机将封水环放置在座环安装位置,观察封水环上、下环板平面

及螺纹孔与座环是否保持一致,如有较大误差时需进行处理,待确保无误后安装连接螺栓。其中封水环与座环上、下环板密封面的同心度不得大于1 mm,各接触平面的间隙不得大于0.2 mm。安装就位后使用专用拉伸工具对称、均匀、分次预紧封水环与座环的连接螺栓。

文登项目首台机封水环安装完成后,发现其下部周向平面密封条整圈均出现外露情况,经核实其原因为封水环下部密封槽位置的加工尺寸出现了较大偏差,即密封槽分布圆直径比设计尺寸小12 mm。封水环结构剖面图及下平面密封外露情况见图6。

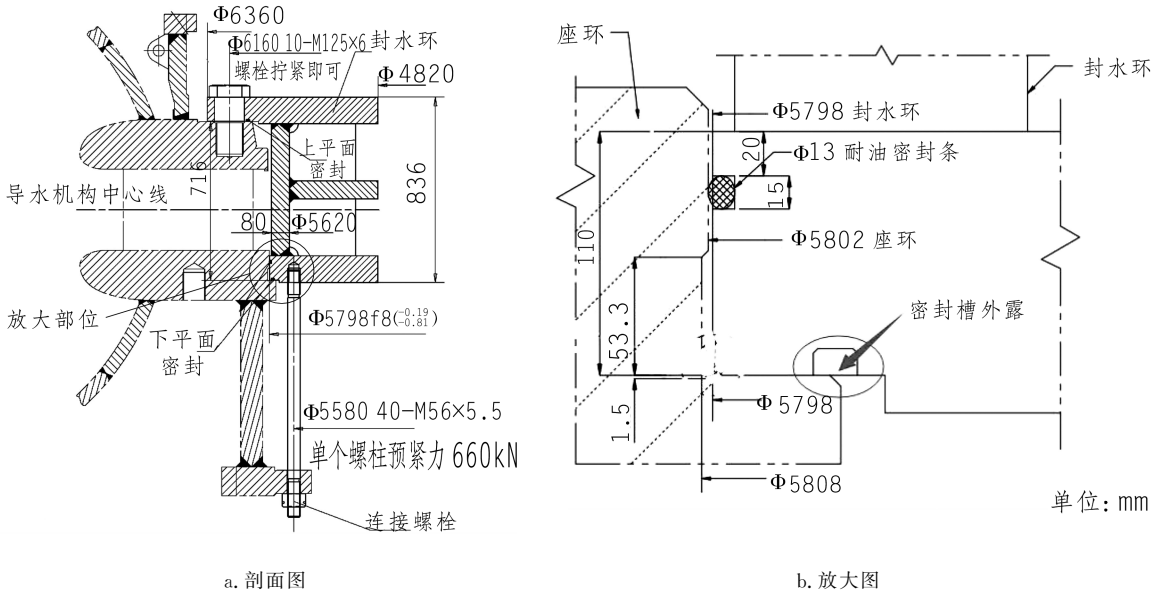


图6 封水环结构剖面图及下平面密封外露图

### 3.3 管路及试验设备的安装

蜗壳水压试验需要安装的设备和管路主要包括:电源箱、试验打压泵、压力表、阀门、蜗壳测压管、蜗壳排水管、蜗壳平压及排气管等。蜗壳排水管按照设计图纸的要求安装排水阀门并连接打压设备,将打压设备布置于蜗壳闷头正下方,将蜗壳平压及排气管接口引出并安装阀门及压力表,蜗壳排气管及测压管使用临时封堵板进行封焊处理。

### 3.4 监测仪器的架设

在座环蜗壳及试验闷头上布置百分表(共17块)用于监测水压试验过程中座环蜗壳的位移变化及蜗壳变形量。在蜗壳4个方位断面的腰部及底部分别布置2块百分表,共8块;在座环下法兰四个轴线方向各布置1块百分表,共4块;在座环下法兰+Y和+X径向位置各布置1块百分表,共2块;在打压闷头侧腰线、底部及轴向各布置1块百分表,共3块。百分表表座必须有单独支撑,其不能与座环蜗壳有接触并要有足够的刚度以保证测量读数的准确性,布置过程中需要记录百分

表数值。

在保压浇筑时撤掉蜗壳四个方位断面及试验闷头上的百分表,及时观察并记录座环下法兰各位置布置的百分表读数,全程监视保压浇筑混凝土时座环的水平位移情况。

## 4 蜗壳水压试验时可能出现的问题

(1)蜗壳水压试验前,其封水环、试验闷头及蜗壳进人门需要清扫干净,严格按照相关要求安装,任何一处安装不好都有可能出现压力水泄漏而导致试验失败的结果。

(2)将蜗壳测压管路临时封堵板全部封焊且焊缝必须进行无损检测,若焊缝质量得不到保证,亦可能出现焊缝开裂而漏水。

(3)蜗壳水压试验时必须严格控制试验速度,不允许直接将蜗壳内的压力由0升至11.983 MPa,如此实施会破坏蜗壳本体的焊接结构和焊接应力变化。

(4)蜗壳水压试验时蜗壳的升压、保压及降压必须严格按照试验曲线进行,控制好各项试验时间,防止蜗壳由于水压试验变形过快而造成蜗壳

应力变化过大<sup>[3]</sup>。

(5) 螺栓预紧的伸长量对保证蜗壳打压时各合缝面的密封性以及防止漏水尤为重要。若封水环与座环连接螺栓、蜗壳进人门螺栓、试验闷头螺栓伸长量不够时,将会在高压力下发生漏水现象,因此,一般将螺栓伸长量的误差控制在 $\pm 1\%$ 以内<sup>[4]</sup>。

(6) 由于设计原因,螺栓预紧力考虑过小,导致蜗壳水压试验时随着水压逐渐上升螺栓的残余预紧力逐渐减小,受压密封条的密封效果有所降低,最后导致压力水从密封处渗漏。

## 5 水压试验流程

### 5.1 试验速度的控制

蜗壳水压试验过程见图 7。试验时依次升压至 3 MPa、保压 15 min,降压至 2.4 MPa、试验时保压 5 min,升压至 5 MPa、保压 10 min,降压至 4 MPa、保压 5 min,升压至 7 MPa、保压 10 min,降压至 5.6 MPa、保压 5 min,升压至 9 MPa、保压 10 min,降压至 7.2 MPa、保压 5 min,升压至 11.983 MPa、保压 30 min,降压至 7.989 MPa、保压 30 min,最后降压至 4 MPa 进行保压浇筑工作。

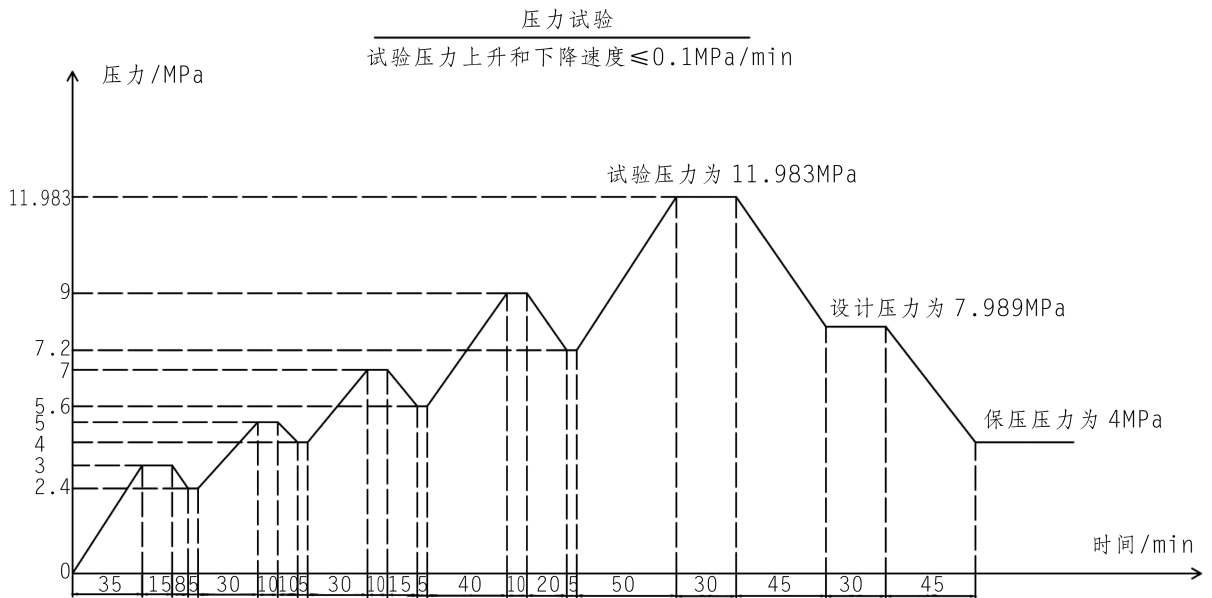


图 7 蜗壳水压试验图

### 5.2 保压浇筑

在保压浇筑过程中,密切监视座环的水平度变化和位移情况,同时有效控制混凝土的浇筑速度(混凝土浇筑上升速度 $\leq 300$  mm/h<sup>[5]</sup>),每次浇筑其最高与最低处的差值应小于 200 mm,一旦水平度变化过大应及时报告并改变浇筑顺序。该项目不仅利用百分表监测数据,还使用精密水准仪和全站仪监测座环的水平与位移情况。

在保压浇筑过程中,项目部安排专人 24 h 值班监测座环位移、水平变化及压力表变化情况。当压力表读数超过 4 MPa 时,打开试验泵泄压阀进行泄压;当压力表读数低于 4 MPa 时,启动试验泵进行升压以确保浇筑过程中蜗壳的压力值满足设计要求。

## 6 结语

文章介绍了文登抽水蓄能电站座环蜗壳水压试验设备的安装及试验流程,通过工艺控制提高了水压试验的一次成功率;同时提出了两种封水环设备缺陷处理方案并将其实际应用到工程实践中,总结并分析了两种方案具有的优缺点。采用方案一中的方法,通过在现有装配间隙位置巧妙地布置两道径向密封,较传统的处理方式创新性较强,缺陷处理时仅需 2~3 d 时间,而且只需更换密封条与提高连接螺栓的预紧力即可降低缺陷处理的成本,从而大大提高了工作效率,增加了经济效益,所取得的经验对同类型缺陷的处理及水压试验具有较好的指导意义。

(下转第 108 页)

免混凝土表面出现裂纹及强度降低。

(5)混凝土浇筑时应及时进行切缝,切缝宜在浇筑完成后 48 h 内完成,切缝混凝土的强度不小于 5 MPa,切缝按先诱导缝、后结构缝的顺序进行。

4 结 语

该项目研发出的桁架式开槽机采用切割的方式开挖沟槽,完美地解决了崩解岩边坡沟槽开挖成型困难、施工效率低的技术难题;简化了渠道衬砌机混凝土直接入仓的方式,以直卸式入仓替代传统的皮带机运输入仓,提高了混凝土运输设备的使用效率并解决了复杂结构边坡混凝土布料困难的施工难题,拓宽了渠道衬砌机的适用范围。随着 172 项重大水利工程持续推进以及加大水利工程投资建设的政策红利,该标段崩解岩边坡格构梁护坡施工技术成功应用,能够为后续类似

(上接第 85 页)

参考文献:

[1] 刘洋.人防地下室主要出入口防护设计要点研究[J]. 城市住宅,2021,28(3):118-120.

[2] 人民防空地下室设计规范,GB50038-2005[S].

[3] 谷盼盼.人防工程主体施工质量控制与研究[J]. 建筑技术开发,2020,49(13):134-136.

[4] 王爱华,骆晓.高层建筑地下室人防工程施工质量控制研究[J]. 散装水泥,2022,38(4):49-53.

[5] 谢莉.人防工程主体施工技术质量通病预防策略[J]. 建筑技术开发,2020,47(6):146-147.

(上接第 94 页)

参考文献:

[1] 周忠浩,熊建平.清远水泵水轮机蜗壳水压试验和保压浇筑技术特点[C].中国水力发电工程学会水力机械专业委员会等,第十九次中国水电设备学术讨论会论文集,2013 年 11 月 21-23 日,大连,中国.

[2] 吴海滨.官地水电站 3 号机蜗壳水压试验[J].四川水力发电,2012,31(5):19-21.

[3] 唐睿,郭华.蒲石河抽水蓄能电站蜗壳水压试验及保压浇筑

(上接第 103 页)

点以及隧道防水施工技术,旨在为同类工程的建设提供借鉴。

参考文献:

[1] 中冶交通工程技术有限公司.一种混凝土支护结构的施工方法:中国,200910242898.2[P].2009-12-16.

[2] 隧道工程防水技术规范,CECS 370:2014[S].

[3] 地下工程防水技术规范,GB 50108-2008[S].

工程项目提供宝贵经验。

参考文献:

[1] 李国维,赫新荣,李铭,王志勇,吴少甫,江永强,吴建涛,陈伟.引江济淮工程膨胀土下伏崩解岩边坡处治试验研究[J].中南大学学报(自然科学版),2022,53(1):52-54.

[2] 郝用兴,张明慧,马子领,马少丹,宋利辉.HJXK-1 型超长边坡渠道削坡开槽机的研制[J].华北水利水电大学学报(自然科学版),2015,36(5):84-88.

[3] 张跃松.南水北调渠道混凝土衬砌施工技术[J].华北水利水电学院学报,2010,31(5):20-21.

[4] 赵瑞君.水利工程渠道衬砌施工技术研究[J].建筑技术开发,2016,43(1):88-89.

[5] 张敬之.S211 鸭凤公路工程首件工程认可制实施分析[J].黑龙江交通科技,2019,42(9):236-237.

作者简介:

胡欣(1984-),男,湖北孝感人,分局副局长,高级工程师,双学士,从事水利水电工程施工技术与管理工作的。

(责任编辑:李燕辉)

[6] 谢丹.地下人防工程土建施工质量通病分析[J].工程技术研究,2019,42(18):1538-1540.

作者简介:

杨培青(1987-),男,河南兰考人,项目常务副经理,高级工程师,从事建筑工程建设项目技术与管理工作的;

李辉(1989-),男,河南商丘人,项目工程管理部副主任,工程师,硕士,从事建筑工程建设施工技术与管理工作的;

杨卫兵(1990-),男,山西晋中人,项目总工程师,工程师,学士,从事建筑工程建设施工技术与管理工作的。

(责任编辑:李燕辉)

混凝土浅谈[J].水利水电工程,2013,32(增刊):87-89.

[4] 朱邦材,杨鸿,杨硕.高水头水轮机蜗壳水压试验的特点及工艺方法[J].大电机技术,1997,27(3):41-47.

[5] 水轮发电机组安装技术规范,GB/T 8564-2003[S].

作者简介:

蒋佳驰(1989-),男,四川广安人,项目部常务副经理,工程师,学士,从事机电设备安装技术与管理工作的。

(责任编辑:李燕辉)

[4] 胡勇红.地铁渗漏与防水设计、施工的关系[J].中国建筑防水,2013,30(17):6-10.

[5] 姚孟成,常国朋.明挖隧道变形缝施工质量控制要点[J].中国高新科技,2020,27(24):36-37.

作者简介:

高华(1985-),男,甘肃天水人,华中分公司副总工程师兼项目管理中心主任,高级工程师,从事市政工程桥梁建设施工技术与管理工作的。

(责任编辑:李燕辉)