

城门洞型泄洪洞混凝土施工分序及分缝探讨

易 丹

(中国安能第三工程局成都分公司,四川 成都 611130)

摘要:通过对溪洛渡水电站泄洪洞无压上平段和龙落尾段混凝土衬砌方案进行对比分析,探讨了水工隧洞混凝土衬砌的分序与分缝问题,提出了由于高水头、大断面、高流速水工隧洞对混凝土过流面表面的质量要求极高,从保护底板的角度出发,适宜采用先浇筑边墙、顶拱,最后浇筑底板的施工顺序并宜将边墙与底板分缝位置设置在二者结合处。阐述了具体的分析过程。

关键词:隧洞;衬砌混凝土;施工分序;分缝;溪洛渡水电站

中图分类号:TV7;TV22;TV544;TV52

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2020)增 1-0009-04

Discussion on Concrete Construction Sequence and Structural Jointing of Chengmen Spillway Tunnel

Yidan

(China Annen Group Third Engineering Bureau Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 611130)

Abstract: By comparing and analyzing the concrete lining schemes at upper non-pressure section and Longluo end section of the spillway tunnel of Xiluodu Hydropower Station, the paper discusses the concrete lining sequence and joint of the hydraulic tunnel, and points out that due to the high water head, large section and high flow velocity, the quality of the concrete surface of the hydraulic tunnel is very high. From the point of view of protecting the bottom slab, the side wall and top arch should be casted first, finally, the construction sequence of bottom slab should be casted, and the joint position of the side wall and the bottom slab should be located at the connection of the two. The specific analysis process is described.

Key words: tunnel; lining concrete; construction sequence; joint; Xiluodu Hydropower Station

1 概 述

溪洛渡水电站左、右岸各平行布置了两条泄洪隧洞,中心间距 50 m,均为有压接无压、洞内龙落尾型式。无压段分为无压上平段和龙落尾段,均为城门型结构,采用混凝土全断面衬砌,衬砌厚度为 0.8~1.5 m,衬砌后的尺寸为 14 m×19 m (宽×高)。无压上平段纵坡 $i=0.023$,设计泄洪流速为 20~30 m/s。龙落尾段接无压段终点,从上游至下游依次由上直坡段、奥奇曲线段、斜坡连接段、反弧曲线段、下直坡段等组成,上直坡段底坡 $i=0.023$,奥奇曲线段的抛物线方程采用 $Z=X^2/400+0.023X$,奥奇曲线与反弧曲线之间的斜坡连接段与水平面的夹角为 22.5°。在斜坡连接段两端设置有 1#、2# 掺气坎,反弧段反弧半径 $R=300$ m,在反弧曲线段末端设置有 3# 掺气坎,下直坡段紧接反弧段末,水流流速最高达 50

m/s 以上,其底坡 $i=0.08$ 。由于高水头、大断面、高流速水工隧洞对混凝土过流面表面质量要求极高,从保护底板的角度出发,适宜采用先浇筑边墙、顶拱,最后浇筑底板的施工顺序,并宜将边墙与底板分缝位置设置在二者结合处(图 1)。

2 施工方案

通常,在城门洞型水工隧洞施工过程中,底板与边墙(边顶拱)混凝土均为分序浇筑,根据工程具体的情况不同分为先底板、后边墙(边顶拱)和先边墙(边顶拱)、后底板两种浇筑顺序。通常按照隧洞衬砌混凝土弯矩图并根据接缝处弯矩为零的要求,前者在浇筑底板时同仓浇筑 30~60 cm 高的矮边墙,后者则浇筑“L”型边墙,将底板和边墙的分缝设置在零弯矩处^[1](图 2,3)。

溪洛渡水电站泄洪洞无压上平段采用前一种浇筑顺序。龙落尾段则采用后一种浇筑顺序,在经过充分研究论证的前提下,没有设置“L”型边

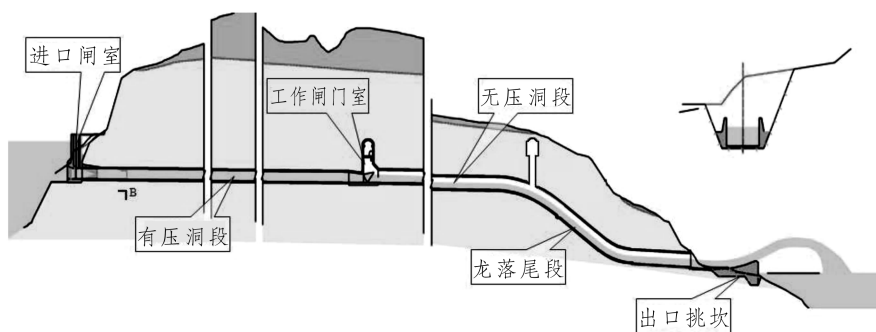


图1 泄洪洞纵剖面示意图

单位:m

墙,而是按设计结构线先浇筑边墙,再在两侧边墙之间采用隐轨式拖模台车浇筑底板^[2],创新采用了在边墙、底板结合处垂直分缝的方式(图4)。

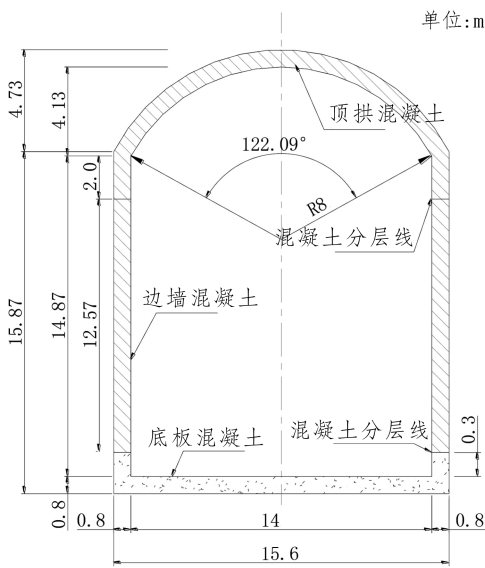


图2 先浇底板加矮边墙方式示意图

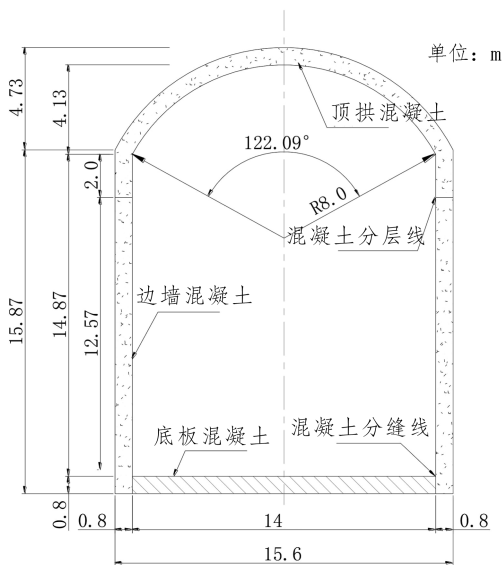


图4 边墙、底板结合处垂直分缝方式示意图

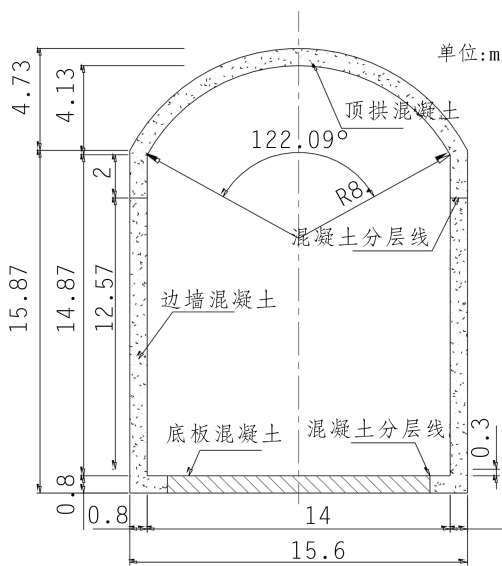


图3 先浇“L”型边墙方式示意图

2.1 无压上平段施工方案

无压上平段按照设计要求纵向按9 m分段。全断面分底板(加不矮于30 cm的边墙)、边墙(起拱线以下2 m)、顶拱三序浇筑。按先底板、后边墙、最后顶拱的顺序由下游向上游逐块施工。^[3,4]

底板采用组合钢模组立端头模板,混凝土罐车运输,布料机输送常态二级配混凝土入仓;按台阶法分两层(坯层厚40 cm或50 cm,左右方向布料,台阶宽3~4 m)组织施工,人工平仓振捣,刮轨工艺收面,采取温控措施控制混凝土的内部温升。30 cm矮边墙与底板同仓浇筑,采用拐角模板立模,拐角模板在夹角处采用螺栓连接,并在初凝前对底部压模(左岸30 cm、右岸15 cm)作翻模

抹面处理。

边墙采用钢模台车立模,利用台车自动升送系统或长臂正铲提升常态混凝土至台车顶部,再由布置在台车顶部的皮带输送系统向左右侧四处下料点依次下料,通过缓降溜筒入仓,在国内首次实现了大断面泄洪洞隧洞边墙常态混凝土浇筑^[5,6]。按照平铺法分层下料(层厚不大于40 cm)、两侧均匀上升的方式组织施工,人工平仓振捣。

由于先浇底板,在边墙、顶拱施工过程中易对底板造成破坏,故底板铺设按“一层保温被(3 cm)+一层砂(10 cm)+一层天然砂砾石料(20 cm)”的方法进行保护,垫渣采用自卸车运输,反铲配合人工铺设均匀,待洞内施工全部完成后,再由人工配合反铲、自卸车将垫渣清理干净。

2.2 龙落尾段及无压下平段施工方案

龙落尾段及下平段边墙、顶拱施工分段与无压上平段一致,底板施工时反弧段、斜坡段、奥奇段分三大段通仓施工,分段长度为70~90 m,各段中间不分缝。由于龙落尾段泄洪洞流速最大(可达50 m/s),且因混凝土过流面表面质量要求极高,为避免边墙、顶拱施工对底板混凝土表面造成破坏,将施工顺序改为先浇边墙、顶拱,底板在边墙、顶拱全部施工完成后浇筑。

边墙、顶拱创新采用了大断面斜洞钢模台车施工,左岸泄洪洞台车采用液压行走系统,右岸泄洪洞台车采用卷扬机配多倍率滑轮牵引系统,从下游往上游方向逐仓浇筑。边墙底模采用木模组立,直接沿台车面板竖直延伸至底板基岩面,创新采用了在边墙、底板结合处竖直分缝的方式。采用混凝土搅拌车运输二级配泵送低热水泥混凝土^[6]泵送至台车顶部接两侧溜筒入仓、两侧均匀平铺法下料,下料层厚不大于40 cm,人工平仓振捣。底模拆模后及时对过流面以下的施工缝面进行凿毛、清理和养护。

底板采用悬臂隐轨拖模台车施工。在距离两侧墙2 m处布置隐轨,用于台车行走;轨道形状与底板体型一致以确保混凝土浇筑体型和平整度。混凝土采用低热水泥硅粉混凝土,通过溜槽入仓、人工平仓振捣。左岸拖模台车采用液压自行爬升,两根丝杆作为保险措施。右岸拖模台车采用两台27 t锚索千斤张拉钢铰线上行,两台10 t手拉葫芦作为保险措施。每次拖模距离约为

37.5 cm,拖模时间间隔为45 min;抹面工在台车尾部设置的抹面平台上进行抹面作业,避免直接站在混凝土上抹面扰动其表面以提高抹面质量。采取温控措施控制混凝土的内部温升,90 d长流水养护。

3 泄洪洞衬砌混凝土浇筑实施效果

3.1 无压上平段实施效果

泄洪洞无压段采用先底板,后边墙、顶拱的施工顺序,底板采用刮轨抹面施工工艺,两侧矮边墙采用特制拐角模板,有效解决了底板隆起和气泡问题。边墙成功使用了常态混凝土供料系统,国内首创采用常态混凝土入仓,对减少混凝土温度裂缝、降低施工与维修成本起到了十分明显的作用。混凝土体型偏差2 cm以内的测点比例为98.7%;局部不平整度平均为3.3 mm、最大为4.2 mm,5 mm以内的测点比例为100%,体型控制较好。台车面板与矮边墙搭接质量总体良好,但局部仍存在搭接不严密而导致漏浆、挂帘等问题。底板垫渣措施在边墙、顶拱施工过程中对底板过流面起到了有效的保护作用,但在清理垫渣过程中仍对过流面造成了不可避免的局部损伤^[7~9]。

3.2 龙落尾段实施效果

龙落尾边墙体型偏差1 cm以内的测点比例为96.3%;局部不平整度平均为2 mm、最大为2.7 mm,3 mm以内的测点比例为100%,均满足最大不超过3 mm的设计要求,体型控制优良。

底板拖模台车结构合理,方便实用,降低了工人的劳动强度,提高了施工效率,浇筑方案和浇筑质量优良。底板体型偏差1 cm以内的测点比例为95.8%;局部不平整度平均为2.2 mm、最大为3.2 mm,3 mm以内的测点比例为98.7%,体型控制较好。

底板与边墙接缝处体型精准,结构线成型质量优良。经四次过流后检查接缝位置未发现冲刷破坏,龙落尾段亦未发生明显的空蚀破坏。

4 混凝土分序及分缝探讨

4.1 混凝土分序探讨

经对无压上平段和龙落尾段不同浇筑顺序进行对比,笔者认为:先浇边墙、顶拱,后浇底板的分序方式具有以下优点:

(1)可以有效避免边墙、顶拱施工中钢筋制安、台车拆装、台车移动就位、模板组立等工序以

及高空坠物对底板混凝土过流面的损伤。目前在建、拟建的大中型水电站泄洪洞均为高水头、高流速水工隧洞,高速水流所带来的水力学问题相当突出,对混凝土过流表面的质量要求亦相当高,因此,保护过流面不受损坏尤为重要。

(2)底板清基工程量较边墙、顶拱清基工程量大,且受干扰较大,若先进行边墙、顶拱施工有利于工序间的衔接;在施工的同时,还可以进行底板连续备仓,为底板多仓连续浇筑创造条件,缩短底板浇筑的工期,提高施工效率。

(3)采用后浇底板的方式不必进行垫渣保护,从而大大降低了底板过流面保护措施费用,节省了施工成本,同时也避免了后期清理垫渣时对底板过流面的损伤。

(4)减少了底板过流面损伤修补工程量,节省了后期处理费用,降低了工程成本。

4.2 混凝土分缝探讨

4.2.1 底板与边墙分缝

笔者上述已介绍了先浇筑底板时同仓浇筑30~60 cm高矮边墙或先浇筑“L”型边墙的方式都是将底板和边墙的分缝设置在零弯矩处。但笔者认为:在水工隧洞衬砌混凝土施工中,更适合采用与边墙过流面齐平的竖直分缝或与底板过流面齐平的水平分缝方式,理由有以下几点:

(1)设计提出的边墙、底板在底板以上不小于30 cm矮边墙处分缝原则的依据是此处边墙所受弯矩为零或最小。但其前提是边墙混凝土单独承受隧洞内外水压力,且必须确保分缝线不受弯矩或弯矩较小以避免拉应力和剪应力对边墙造成破坏;而对于隧洞而言,并非衬砌混凝土单独承受内外水压力,其弯矩其实是由围岩承受,因此不必担心边墙受弯矩过大而破坏。例如溪洛渡水电站地下厂房,其尺寸远大于泄洪洞而不设衬砌混凝土,就是因为其受力完全由围岩承受,可保证其安全。

(2)在零弯矩处设置纵向施工缝,则施工缝完全暴露于高速水流的冲刷之下易遭到冲蚀破坏,而在底板、边墙结合处设置纵向施工缝,则施工缝处于底板以下边角位置,对抗冲耐磨和防空蚀均较为有利。

(3)可有效降低模板组的立模难度和底板与边墙结合部分混凝土浇筑质量的控制难度,从而有效保证混凝土的接缝质量,提高施工效率,降低

施工成本。

4.2.2 底板多仓连续浇筑出现的裂缝问题

底板多仓连续浇筑虽然提高了施工效率,加快了浇筑速度,但也带来了垂直水流向裂缝增多的问题。今后,在类似工程施工中,可研究设置诱导缝的方式,使底板开裂位置受控并减少裂缝数量。诱导缝内提前埋设止水以保证混凝土的耐久性。

5 结语

笔者介绍了溪洛渡水电站泄洪洞无压上平段和龙落尾段混凝土衬砌方案,通过对两种不同方案进行对比分析,探讨了高水头、大断面、高流速水工隧洞混凝土衬砌的分序和分缝问题。笔者认为:随着高速水流问题的突出,对水工隧洞混凝土过流面的表面质量应该引起足够的重视,从底板保护角度出发,更加适宜采用先浇筑边墙、顶拱,后浇筑底板的施工顺序;边墙立模时,可采用直接沿边墙过流面结构线竖直分缝的方式,最后在两侧边墙之间浇筑底板混凝土;底板宜采用隐轨拖模多仓连续浇筑以提高施工效率和施工质量,并研究设置诱导缝的方式,使底板开裂位置受控,减少裂缝出现的数量。

参考文献:

- [1] 姜明君. 基于供水工程引水隧洞工程典型断面衬砌结构分析[J]. 黑龙江水利科技. 2020, 48(8): 98-101.
- [2] 代昌福, 韩金涛, 郑祥. 溪洛渡水电站泄洪洞龙落尾底板拖模的研制及施工技术[J]. 四川水力发电. 2013, 32(5): 1-3, 11.
- [3] 马旭辉. 浅析引水隧洞混凝土衬砌施工技术措施[J]. 水利水电, 2019, 121(8): 116-118.
- [4] 肖俊聪. 水利工程隧洞施工技术综述[J]. 山西水利. 2019, 35(1): 41-42.
- [5] 邓良超, 孙峰, 覃壮恩. 溪洛渡水电站右岸泄洪洞混凝土施工[J]. 水利水电施工, 2013, 32(5): 24-27.
- [6] 聂庆华, 陈庄明, 许传稳. 溪洛渡水电站泄洪洞工程技术创新与创新管理[J]. 四川水力发电. 2014, 33(2): 100-104.
- [7] 王新杰. 关于大断面引水隧洞混凝土衬砌施工的探讨[J]. 工程建设与设计. 2019, 66(8): 174-175.
- [8] 王雷. 水工隧洞衬砌底板防碾压保护层混凝土保护技术研究[J]. 水电站设计, 2019, 35(4): 29-31, 57.
- [9] 吴蕴洲. 水利输水隧洞二次衬砌计算[J]. 东北水利水电, 2019, 37(5): 16-18.

作者简介:

易丹(1983-),男,四川自贡人,高级工程师,硕士,从事水电工程施工技术与管理工。

(责任编辑:李燕辉)