

基于不同规范对大跨度连续刚构渡槽 进行的验算对比分析

石瑶, 高立宝, 陈强, 代富, 王广巍

(中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司, 四川 成都 611130)

摘要: 鉴于预应力混凝土(PC)连续刚构渡槽具有受力性能优越、跨度大、承载力高等优点,亭子口灌区一期工程Ⅲ标粟家庙渡槽跨张南高速段布置了(67+120+67)m连续刚构渡槽。阐述了遵循相关公路规范和水利规范对渡槽上部结构进行的纵向验算,并分别从承载力极限状态和正常使用极限状态两方面对验算结果进行了分析。分析结果为:对承载力极限状态进行验算得知,公路规范比水利规范更为严格;而对于正常使用极限状态进行验算得知,水利规范比公路规范更为严格。因此得出以下结论:在连续刚构渡槽类水工构筑物设计中,需要同时遵循水利规范和公路规范要求,且须先满足水利规范要求,再按公路规范进行补充。

关键词: 亭子口灌区;连续刚构渡槽;水利规范;公路规范;承载力极限状态;正常使用极限状态

中图分类号: [TV91];TV76;TV31;TV39

文献标志码: B

文章编号: 1001-2184(2024)02-0042-05

Comparative Analysis of Checking Calculation of Different Specifications for Large-span Continuous Rigid Frame Aqueducts

SHI Yao, GAO Libao, CHEN Qiang, DAI Fu, WANG Guangwei

(PowerChina Chengdu Engineering Corporation Limited, Chengdu Sichuan 611130)

Abstract: In view of the advantages of prestressed concrete (PC) continuous rigid frame aqueducts, such as superior mechanical performance, large span, and high bearing capacity, the (67 + 120 + 67) m continuous rigid frame aqueduct was laid out at the section of the Bid III Sujiamiao Aqueduct of the Tingzikou Irrigation Area across the Zhangnan Expressway. This paper follows the specifications for the highway specifications and the hydraulic specifications to carry out the longitudinal checking calculation of the superstructure, and analyzes the checking results from the two aspects of the bearing capacity limit state and the normal service limit state respectively. The analysis results are as follows: the highway specifications are stricter than the hydraulic specifications through checking calculation of the ultimate state of bearing capacity, while for the normal use limit state check, the hydraulic specifications are stricter than the highway specifications. Therefore, it is concluded that in the design of hydraulic structures such as continuous rigid frame aqueduct, it is necessary to comply with both the hydraulic specifications and the highway specifications requirements, and more importantly, it must first meet the hydraulic specifications, and then supplement according to the highway specifications.

Keywords: Tingzikou Irrigation Area; Continuous rigid frame aqueduct; Hydraulic specifications; Highway specifications; Ultimate state of bearing capacity; Normal use limit state

1 概述

亭子口灌区工程是修建于四川省腹地的一项大型水利工程,包括总干渠、东干渠与西干渠,其中总干渠从已建成的亭子口枢纽左岸隧洞取水,全长 144.57 km,取水口处的设计流量为 76.2 m³/s,东、西干渠从总干渠末端分水,东干渠全长 62.22 km,西干渠全长 58.24 km。

亭子口灌区工程分两期实施,我公司所承担的项目位于亭子口灌区一期工程第Ⅲ标段,主要位于南充市营山县、蓬安县境内,总干渠桩号为 K106+650.00~K144+573.31。

粟家庙渡槽跨张南高速段连续刚构渡槽槽身为预应力混凝土结构,主跨跨度为(67+120+67)m,设计流量为 48.35 m³/s;加大流量为 52.44 m³/s。

收稿日期:2023-12-20

与简支梁式矩形渡槽相比,预应力混凝土(PC)连续箱梁渡槽具有受力性能优越、跨度大、承载力高等优点^[1]。在箱梁内部输水的同时兼作承载结构,具有较大的抗扭刚度,进而提高了结构侧向受力的整体性^[2]。因此,PC连续刚构渡槽常被用于大型输水工程中。

粟家庙连续刚构渡槽采用C55预应力钢筋混凝土槽身,钢绞线采用的强度标准值 f_{ptk} 为 1860 N/mm^2 ,普通钢筋采用的强度标准值 f_{sk} 为 400 N/mm^2 。

其结构布置分为支点截面部分、合龙段截面部分、变截面段部分以及墩顶截面部分。支点段长 6.2 m ,设 0.8 m 后浇带,合龙段长 2.0 m ,变截面段长 54.0 m ,墩顶段长 12.0 m 。 120 m 连续刚构渡槽梁宽 6.3 m ,槽深 5.4 m ,合龙段标准断面宽 9.7 m ,高 6.2 m ,腹板厚 0.6 m ,底板厚 0.6 m ,顶板厚 0.4 m ,支点底部加厚区为 1.0 m ;墩顶段标准断面宽 9.7 m ,高 12.0 m ,腹板厚 1.2 m ,底板厚 1.2 m ,顶板厚 0.4 m 。粟家庙连续刚构渡槽立面布置情况见图1。

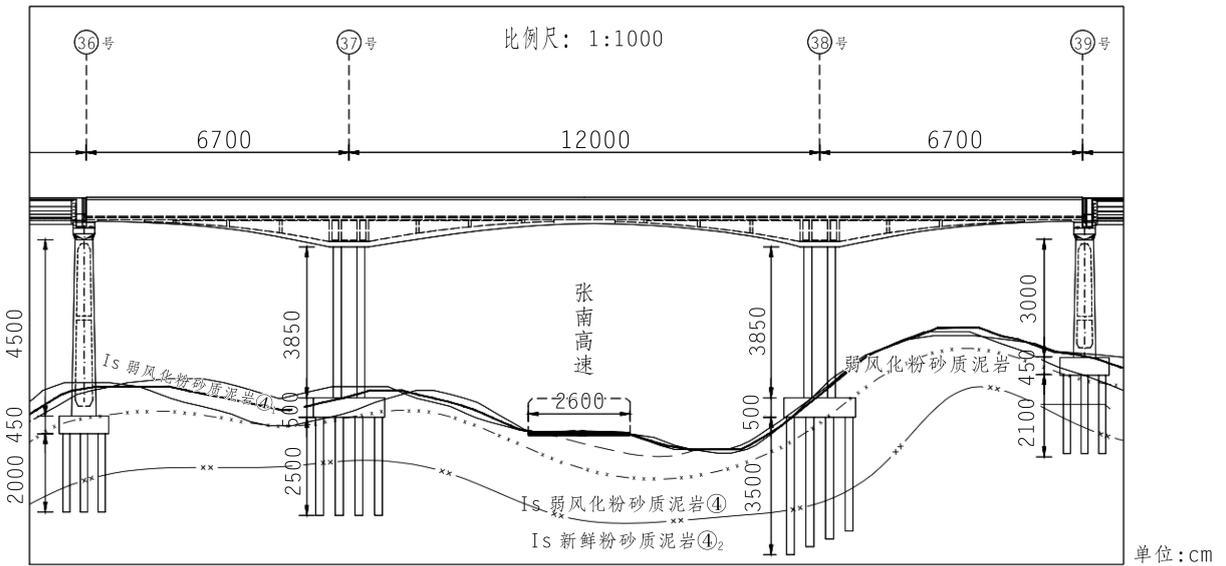


图1 粟家庙连续刚构渡槽立面布置图

根据《高墩大跨度连续刚构渡槽技术指南》^[3]第八章规定:槽身箱梁承载力验算、正常使用状态抗裂验算应分别满足《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362—2018及《水工混凝土结构设计规范》SL 191—2008中的有关规定。因此,笔者对粟家庙连续刚构渡槽槽身采用不同的规范进行了验算。

2 不同规范荷载组合及有限元模型的建立

2.1 不同规范荷载组合及组合系数

2.1.1 公路荷载组合及组合系数

根据《公路桥涵设计通用规范》JTG D60—2015^[4]中的第4.1.5条完成了承载力荷载组合;根据该规范中的第4.1.6条完成了正常使用荷载组合,其应符合下列规定:

承载力基本组合计算中的荷载分项系数为:自重、预应力取1.2;人群、有活横风、温度取1.05;无活横风、雪荷载、设计流量水荷载取1.4;

持久工况的承载能力结构重要性系数取1.1。

正常使用频遇组合计算中的频遇值系数为:人群、风荷载、整体温度取1.0,雪荷载取0.7,梯度温度取0.8,设计流量水荷载取1.0。

2.1.2 水工荷载组合及组合系数

根据《水工混凝土结构设计规范》SL 191—2008^[5]中的第3.2.2条完成了承载力荷载组合;根据该规范中的第3.2.5条完成了正常使用荷载组合。

承载力基本组合计算中的荷载分项系数为:自重、预应力取1.05;人群、风荷载、温度、雪荷载、设计流量水荷载取1.2;持久工况承载能力安全系数取1.2。

正常使用极限状态的计算采用标准组合。

2.2 有限元模型的建立

该项目采用桥梁专用有限元软件Midas Civil 2022进行计算,各构件采用空间梁单元模拟。

有限元整体计算模型见图 2。

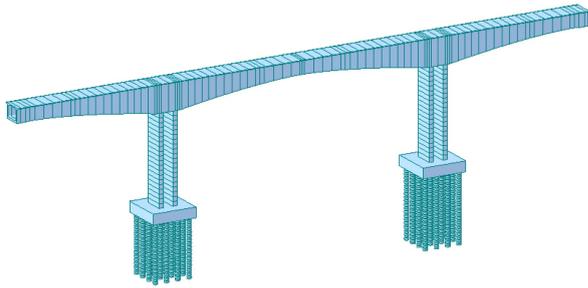


图 2 有限元整体计算模型示意图

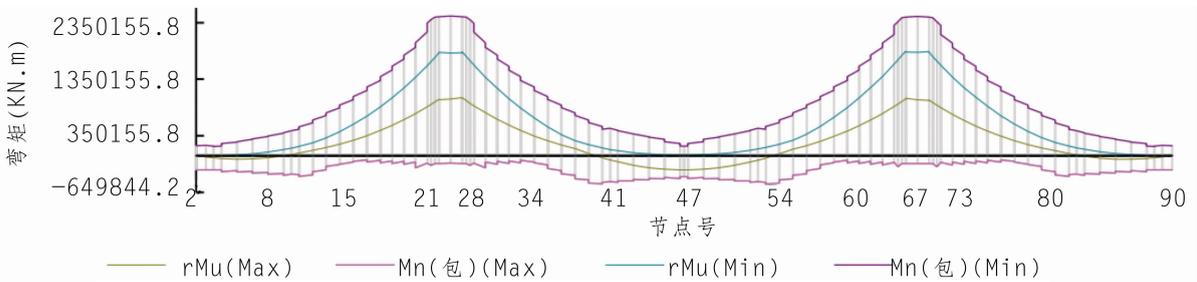


图 3 持久状况正截面抗弯验算包络图

3.1.2 正截面抗弯验算(水工规范)

结果 2: 根据《水工混凝土结构设计规范》SL 191—2008 中的第 6.1.2 条、8.4.1 条规定进行计算得知: 主墩顶部箱梁负弯矩抗弯承载力为 2 457 215.4 kN·m, 负弯矩设计值为

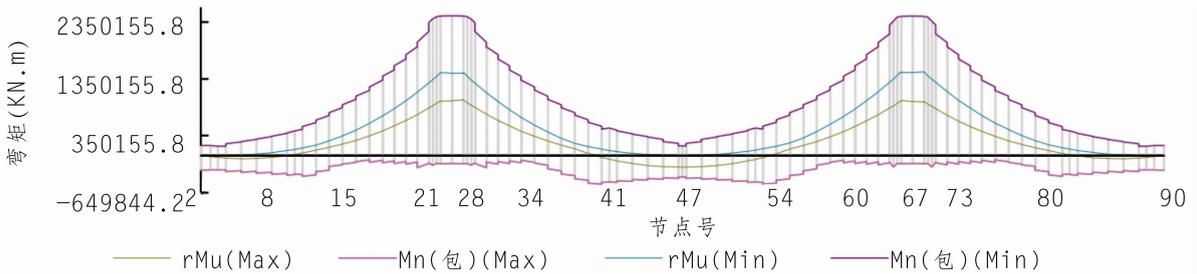


图 4 持久状况正截面抗弯验算包络图

3.1.3 斜截面抗剪验算(公路规范)

结果 3: 按照《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362—2018 中的第 5.1.11 条进行计算得知: 其截面尺寸满足相关规范要求; 按照《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362—2018 中的第 5.2.9 条进行计算得知: 箱梁最大抗剪承载力为 116 648.4kN, 截面最大剪力设计值为 -80 484.3 kN, 安全系数为 1.45 > 1.0, 满足相关规范要求。持久状况斜截面抗剪

3 采用多种规范进行验算与对比分析

3.1 承载力极限状态验算对比情况

3.1.1 正截面抗弯验算(公路规范)

结果 1: 按照《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362—2018^[6] 中的第 5.2.2 条、5.2.3 条及 5.2.5 条规定进行计算得知: 主墩顶部箱梁负弯矩抗弯承载力为 2 457 215.4 kN·m, 负弯矩设计值为 -1 822 222.5 kN·m, 安全系数为 1.35 > 1.0; 中跨跨中抗弯承载力为 377 239.3 kN·m, 正弯矩设计值为 253 075.2 kN·m, 安全系数为 1.49 > 1.0, 满足相关规范要求。持久状况正截面抗弯验算包络图见图 3。

-1 757 371.8 kN·m, 安全系数为 1.39 > 1.0; 中跨跨中抗弯承载力为 377 239.3 kN·m, 正弯矩设计值为 245 337.7 kN·m, 安全系数为 1.53 > 1.0, 满足相关规范要求。持久状况正截面抗弯验算包络图见图 4。

验算包络图见图 5。

3.1.4 按照水工规范验算斜截面抗剪

结果 4: 根据《水工混凝土结构设计规范》SL 191—2008 中的第 8.6.3 条、8.6.4 条规定进行计算得知: 箱梁的最大抗剪承载力为 116 648.4 kN, 截面最大剪力设计值为 -76 413.0 kN, 安全系数为 1.52 > 1.0, 抗剪承载力满足相关规范要求。持久状况斜截面抗剪验算包络图见图 6。

3.2 正常使用极限状态的验算对比

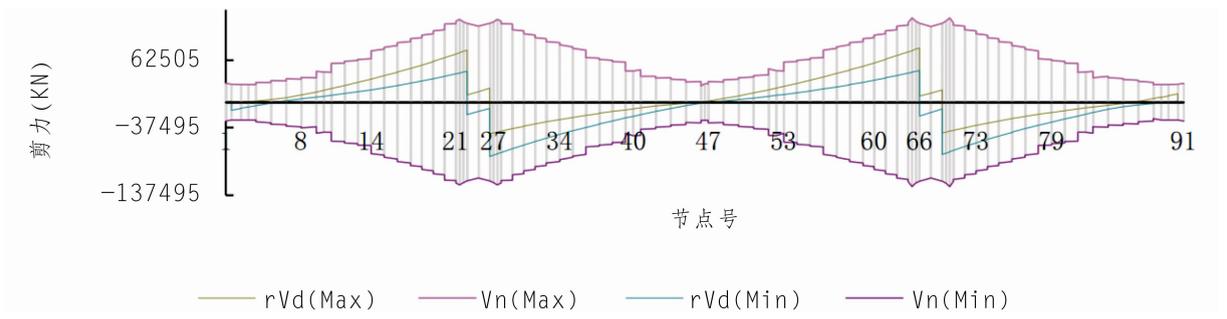


图5 持久状况斜截面抗剪验算包络图

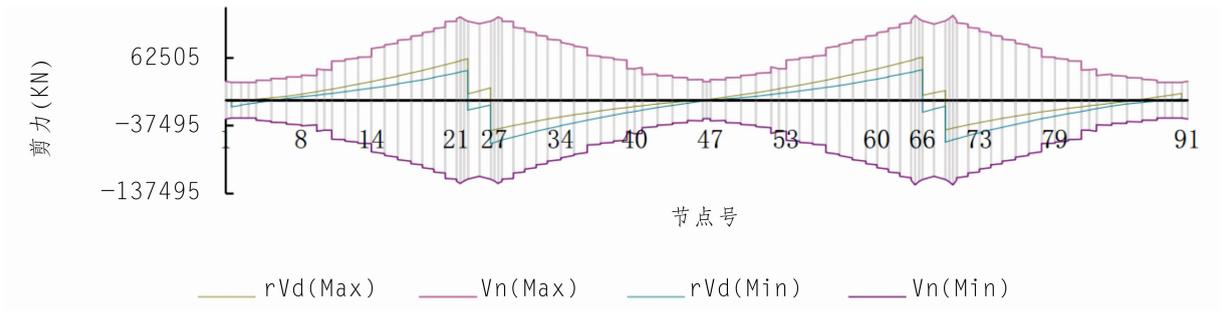


图6 持久状况斜截面抗剪验算包络图

3.2.1 正截面抗裂验算(公路规范)

结果5:按照《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362-2018 中的第 6.3.1-2 条进行验算得知:截面顶缘的最小压应力为

$-2.1 \text{ MPa} \leq 0$, 截面底缘的最小压应力为 $-0.9 \text{ Pa} \leq 0$, 满足相关规范要求。使用阶段正截面抗裂验算(频遇-顶)包络图见图 7, 使用阶段正截面抗裂验算(频遇-底)包络图见图 8。

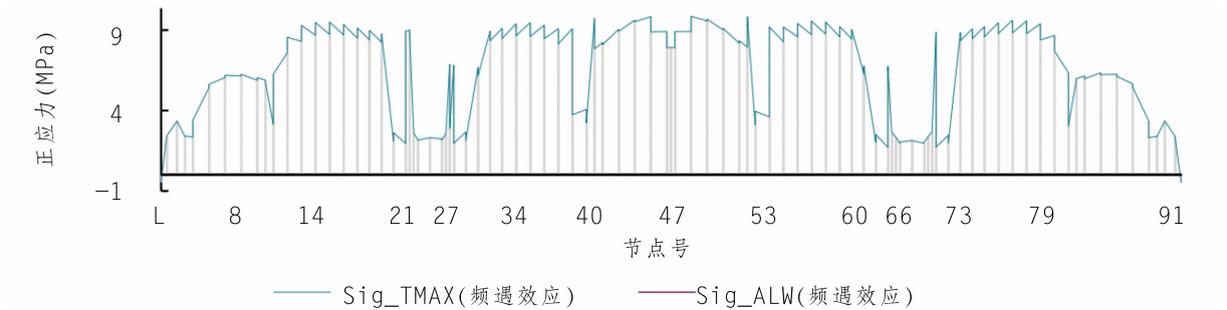


图7 使用阶段正截面抗裂验算(频遇-顶)包络图

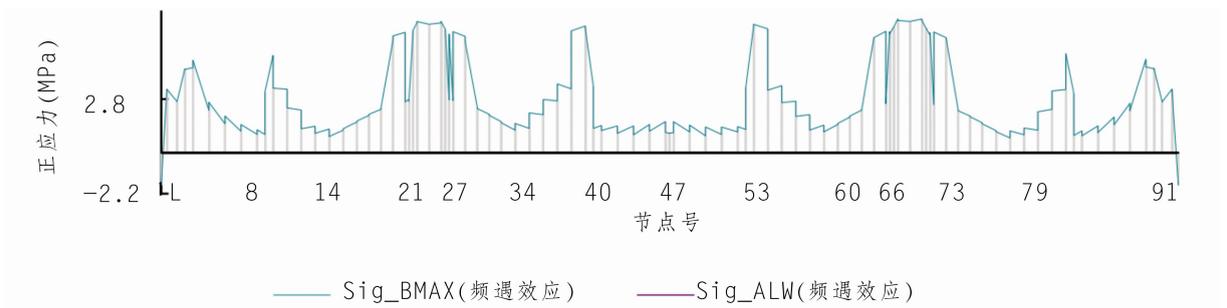


图8 使用阶段正截面抗裂验算(频遇-底)包络图

3.2.2 正截面抗裂验算(水工规范)

结果6:按照《水工混凝土结构设计规范》SL

191-2008 中的第 8.7.1-1 条进行验算得知:截面顶缘最小压应力为 $-1.6 \text{ MPa} \leq 0$, 截面底

缘最小压应力为 $-0.4 \text{ MPa} \leq 0$, 满足相关规范要求。使用阶段正截面抗裂验算(标准-顶)包络

图见图 9, 使用阶段正截面抗裂验算(标准-底)包络图见图 10。

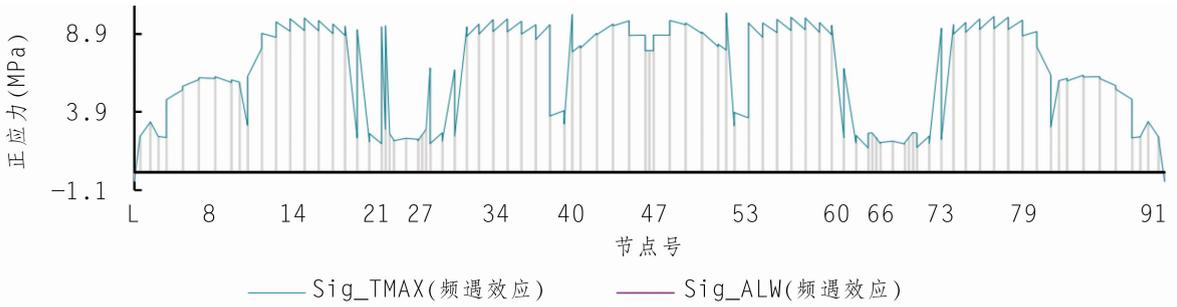


图 9 使用阶段正截面抗裂验算(标准-顶)包络图

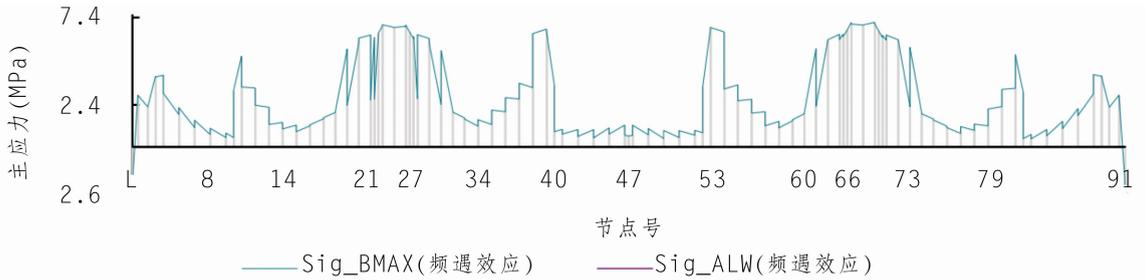


图 10 使用阶段正截面抗裂验算(标准-底)包络图

3.2.3 按照公路规范验算斜截面抗裂

结果 7: 按照《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362-2018 中的第 6.3.1-6 条进行验算得知: $\sigma_{tp} = 0.83 \text{ MPa}$ (拉应力)

$\leq 0.4ft_k = 1.09 \text{ MPa}$ (拉应力), 满足相关规范要求。使用阶段腹板斜截面抗裂验算包络图见图 11。

3.2.4 按照水工规范验算斜截面抗裂

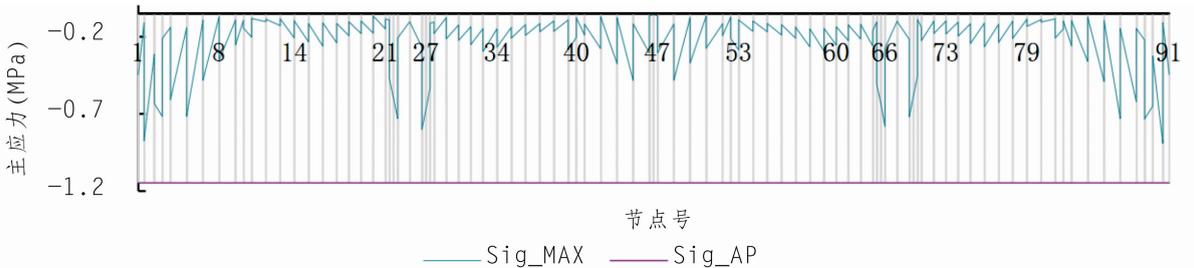


图 11 使用阶段腹板斜截面抗裂验算包络图

结果 8: 按照《水工混凝土结构设计规范》SL 191-2008 中的第 8.7.1-2 条进行验算得知: $\sigma_{tp} = 0.84 \text{ MPa}$ (拉应力) $\leq 0.85ft_k = 2.33 \text{ MPa}$

(拉应力), 满足相关规范要求。使用阶段的腹板斜截面抗裂验算包络图见图 12。

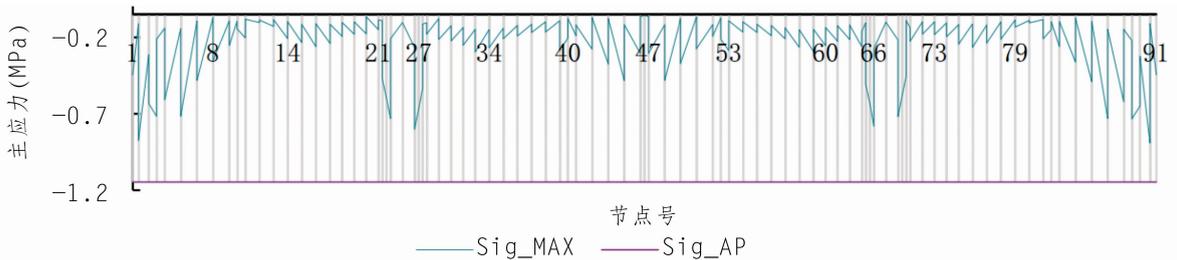


图 12 使用阶段腹板斜截面抗裂验算包络图

(下转第 51 页)

解特征不显著。

(4)经对隧洞围岩中的蒙脱石含量、崩解特性及自由膨胀率、饱和吸水率、膨胀力等膨胀参数进行综合分析后,得出隧洞围岩为非膨胀岩的结论,但其围岩具有一定的膨胀性。根据室内岩石膨胀性试验取得的成果,同时考虑隧洞围岩地质条件,特别是地下水储存、补给与排泄的条件,钢筋混凝土衬砌回填灌浆压力、围岩固结灌浆压力等因素,对于围岩膨胀力一般按 70~100 kPa 取值。

(5)各隧洞围岩初期支护后进行的监测成果显示:监测初期围岩变形速率较大,顶拱垂直变形量可达 10 cm,经过约 1.5~2 个月后围岩变形曲线基本趋于平缓,围岩变形趋于收敛。在马头坎、黄岭垭、大深沟等隧洞衬砌支护完成后的现场巡视过程,未见衬砌出现变形、开裂等破坏现象,隧洞围岩与衬砌稳定。

(6)粉砂质泥岩、泥质粉砂岩在围岩湿度条件、含水率发生变化时易产生胀缩现象,一般表

现为顶拱、边墙膨胀开裂。因此,施工中应及时封闭围岩、衬砌成洞,尽量避免围岩干、湿交替条件变化。

参考文献:

- [1] 水利水电工程地质勘察规范,GB 50487-2008[S].
- [2] 中国地震动参数区划图,GB 18306-2015[S].
- [3] 建筑抗震设计规范,GB 50011-2010[S].
- [4] 何满潮.中国煤矿软岩巷道支护理论与实践[M].江苏苏州:中国矿业大学出版社,1996.
- [5] 铁路工程岩土分类标准,TB 10077-2019[S].
- [6] 水利水电工程安全监测设计规范,SL 725-2016[S].

作者简介:

- 王广巍(1971-),男,内蒙古赤峰人,副高级工程师,学士,从事水利水电工程地质勘察工作;
于晓飞(1991-),男,河北沧州人,工程师,硕士,从事水利工程设计工作;
乔有浩(1991-),男,山东菏泽人,工程师,硕士,从事水利水电工程地质勘察工作;
石瑶(1991-),男,陕西宝鸡人,工程师,硕士,从事桥涵设计工作。

(编辑:李燕辉)

(上接第 46 页)

4 结 语

PC 连续刚构渡槽采用箱型截面,在箱梁内部输水的同时其可兼做承载结构,能够满足大型引水工程大跨度、大流量的要求。笔者通过使用不同的规范进行验算并取得了相应的结论,旨在为后续大跨度连续刚构渡槽的设计提供借鉴及参考。具体结论为:

(1)从上部结构承载力状态角度进行验算取得的结果可知:公路规范比水工规范更加严格。因此,对于连续刚构渡槽类水工构筑物而言,其需要同时满足公路规范和水工规范。

(2)从上部结构正常使用极限状态角度进行验算取得的结果可知:水工规范比公路规范更加严格。因此,对于连续刚构渡槽类水工构筑物而言,其需要首先满足水工规范,然后再按照公路规范进行补充。

(3)从上部结构正常使用极限状态角度进行验算取得的结果可知:进行结构纵向验算时,公路与水工规范都应按照全预应力构件进行验算。

参考文献:

- [1] 王百阳.岩基上大跨度梁式渡槽有限元数值模拟分析[D].长春:吉林大学,2017.
- [2] 徐江,向国兴,罗代明,等.连续刚构结构在特大跨径渡槽建设中的创新与实践[J].水利水电技术,2017,48(1):82-87.
- [3] 向国兴,徐江,罗亚松,等.高墩大跨度连续刚构渡槽技术指南[M].北京:中国水利水电出版社,2018.
- [4] 公路桥涵设计通用规范,JTG D60-2015[S].
- [5] 水工混凝土结构设计规范,SL 191-2008[S].
- [6] 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范,JTG 3362-2018[S].

作者简介:

- 石瑶(1991-),男,陕西宝鸡人,工程师,硕士,从事桥涵设计工作;
高立宝(1979-),男,四川成都人,正高级工程师,学士,从事桥梁设计工作;
陈强(1994-),男,四川成都人,工程师,硕士,从事桥涵设计工作;
代富(1989-),男,四川成都人,副高级工程师,学士,从事桥涵设计工作;
王广巍(1971-),男,内蒙古赤峰人,副高级工程师,学士,从事水利水电工程地质勘察工作。

(编辑:李燕辉)