

某大型湖底明挖隧道钢围堰设计要点

宋 尚

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘 要:湖底隧道施工多采用明挖或盾构的方式。其中,采用明挖法施工时需要设计围堰为隧道围护和主体结构施工提供条件。钢围堰具有施工效率高、环境影响小、可重复利用、安全性高等一系列优点,而现阶段针对湖底明挖隧道的钢围堰设计尚无成熟的理论体系。通过基于某大型湖底明挖隧道对其钢围堰的设计进行讨论,形成了一些初步的经验,以供后续类似工程参考。

关键词:湖底明挖隧道;钢围堰;设计

中图分类号: U455

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)07-0325-04

0 引言

湖底隧道作为一种重要的市政构筑物,随着城市经济的飞速发展,近年愈发受到城市开发管理人员的认可。其施工方式主要有明挖和盾构两种。在明挖湖底隧道施工时,通常需要施作围堰,为隧道的后续施工提供空间。钢围堰具有施工效率高、环境影响小、可重复利用、安全性高等一系列优点^[1-3]。基于隧道狭长型的特点,湖底明挖隧道围堰一般很难形成内支撑结构,使其形成明显不同于桥梁常规钢围堰的结构形式。

目前对此种形式的围堰尚未形成成熟的计算和设计方法,本文希望通过讨论某湖底大型明挖隧道的钢围堰设计,提出湖底明挖隧道钢围堰设计的相关要点,为后续类似项目提供可借鉴的经验。

1 工程概况

本湖底隧道工程项目位于江苏省苏州市,总长3.93 km,隧道主线总长度2.6 km,其中湖中段长度约1.6 km。隧道采用围堰明挖工法,分两期施作。一期围堰总长度2 311 m,其中北侧、南侧纵向围堰长度分别为1 160 m和898 m,横向围堰长253 m。二期围堰总长度2 029 m,其中利用一期围堰长度267 m,东端头隧道上方横向围堰长度为253 m,北侧、南侧纵向围堰长度分别为795 m和714 m。

根据湖底水下地形图,湖底标高主要为3个区

段:湖西段(K0+460~K0+960)约500 m范围湖底现状标高约-0.700~-1.500 m(平均约-1.1 m);湖中段(K0+960~K1+900)约940 m范围湖底现状标高约-5.0~-6.1 m;湖东段(K1+900~K2+040)约140 m范围湖底现状标高约-1.5 m。湖底除表层约1 m厚的淤泥质素填土外,其余均为土质较好的黏土和粉质黏土层,但④-1a、④-2层土中粉砂、粉土较丰富,为承压水层。

2 钢围堰设计

考虑本工程为重点工程且施工期围堰易受船行、风浪影响等,根据《水利水电工程施工组织设计规范》,确定本工程围堰建筑物级别为4级,取20 a一遇的防洪水位标准,相应设计水位为2.184 m,安全超高为0.50 m。围堰顶高程=设计水位+设计波高+设计风壅增水高度+安全超高,故设计围堰顶高程取3.574 m。

2.1 湖西段围堰设计

湖底现状标高约-0.700~-1.500 m(平均约-1.1 m),采用双排钢板桩,钢板桩桩长12 m,堰体宽度6 m,堰顶高程不小于3.574,在桩顶下1.0 m设一道对拉杆,对拉杆通过[28a双拼槽钢将前后排钢板桩拉结成整体。在围堰迎水侧设袋装土护底防冲刷,顶宽3.0 m,高1.5 m,边坡坡比为1:5。围堰基坑内侧设填土护道,顶宽3.0 m,高1.5 m,坡比1:2.0,如图1所示。

2.2 湖中段及湖东段围堰设计

湖中段湖底现状标高约-5.0~-6.1 m,采用双排

收稿日期:2021-01-04

作者简介:宋尚(1990—),男,硕士,工程师,从事结构设计工作。

钢管桩,外侧钢管桩桩长 24 m(26 m),内侧钢管桩桩长 20 m,堰体宽度 8 m,堰顶高程不小于 3.574,在桩顶下 0.5 m、2.0 m 设两道对拉杆,对拉杆通过[28a 双拼槽钢将前后排钢管桩拉结成整体。在围堰迎水侧设土坡护底防冲刷,顶宽 3.0 m,高 2.0 m,边坡坡比为 1:5。围堰基坑内侧设填土护道,顶宽 3.0 m,高 1.5 m,坡比 1:2.0,如图 2 所示。湖东段湖底现状标高虽与湖西段相似,但范围较小,经过过渡段后,围堰已接近东侧岸边,故湖东段围堰采用了与湖中段相同的围护型式。

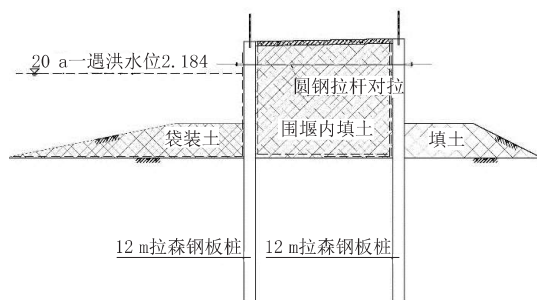


图1 湖西段围堰横断面图

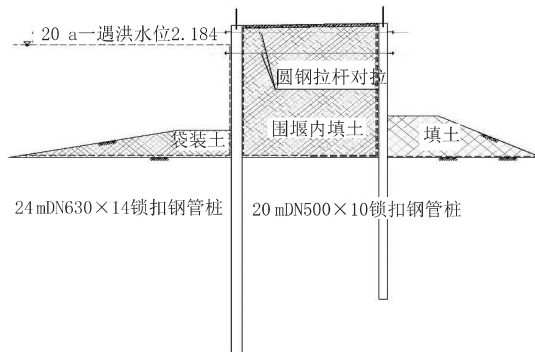


图2 湖东、湖中段围堰横断面图

这 2 种围堰坡顶均采用预制钢筋混凝土路面,并朝外侧形成 2% 的坡度,方便排除雨水。

3 设计要点

3.1 围堰稳定性与承载力计算方法

基于国内类似工程项目,徐江平等^[2,4-7]对双排钢板桩围堰的稳定性与承载力计算进行了讨论。在稳定性方面,主要计算了抗倾覆稳定性、抗滑移稳定性等。在构件承载力方面,一是基于经典土压力模式,计算出围堰内外水土压力后,再用软件求解;二是采用专业的有限元软件,如 FLAC 3D 等,直接建模计算。

笔者认为,在围堰构件刚度和承载力满足计算的条件下,钢围堰类似于重力式挡墙,其稳定性的计算可参考相关规范,并计入水压力的作用,验算围堰的整体稳定性、抗倾覆稳定性、抗渗流稳定性等安全

系数。各安全系数的取值可参考《建筑基坑支护技术规程》对重力式挡墙的要求。以深水区为例,可将水当成一层内摩擦角和黏聚力均为 0 的土层看待,再采用相关软件进行计算。

徐江平等^[2,4-7]对钢围堰的稳定性计算都集中在抗倾覆稳定性和抗滑移稳定性方面,对整体稳定性均未提及,而本文则提出了可基于软件操作的钢围堰整体稳定性计算方法,如图 3 所示。

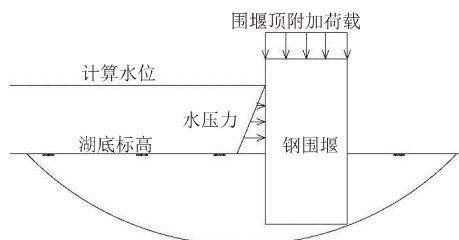


图3 围堰稳定性计算图示

在土压力计算方面,当采用经典土压力理论进行计算时,相关文章均按照朗肯土压力的主、被动土压力进行计算。这在围堰的宽高比较大时是成立的,而在围堰宽高比较小时,如本工程湖东段、湖中段,采用此方法计算围堰内部土压力就会放大内部土压力大小,影响计算结果。因为根据朗肯土压力理论,围堰宽高比较小时,其破坏面如图 4 所示,并未达到主动土压力破坏角,不满足主动土压力条件,故需按照有限范围内的主动土压力理论进行计算。其主动土压力应为:

$$E_a = G \tan(\theta - \varphi) - cL \frac{\cos \varphi}{\cos(\theta - \varphi)}$$

式中: E_a 为有限范围内土压力; G 为破坏体范围内的土的重力; θ 为实际破坏角,详见图 4; φ 为围堰内填土的内摩擦角; L 为实际破坏面长度,详见图 4。

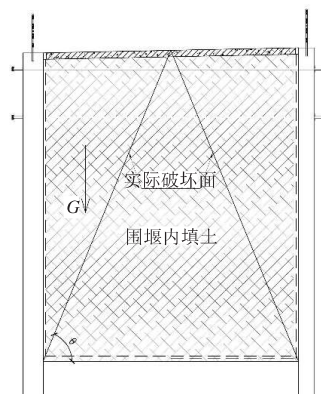


图4 破坏面

3.2 墙背堆土或抛石对结构受力及稳定性的有利作用

围堰背土侧堆土或抛石范围足够,相当于减小了围堰的悬臂高度,会大幅提升围堰稳定性,减小构件内力。以深水区为例,在围堰水深较深时,由于采

用的是悬臂结构,对围堰的插入比和围堰宽度的要求就比较高,同时钢构件的内力非常大,导致截面尺寸巨大。当悬臂高度减小时,内力削减速度与围堰高度呈三次方的关系,所以对水深较深的围堰,在背水侧适当堆土或抛石,可大幅减小围堰构件的截面尺寸。对长大围堰,特别是水深很深时,这是非常经济的一种做法。对于较浅的围堰,也可以适当堆土或抛石,以增加围堰的安全系数。堆土或抛石的范围一定要满足形成被动土压力的条件。

3.3 局部稳定性

钢围堰由钢管、钢围檩和钢拉杆构成。钢管、钢围檩为受弯构件,钢拉杆为受拉构件。钢管和钢围檩需考虑其局部稳定性。钢管在施工完成后,需对其内部空间进行填充。这样既可增大钢管的刚度,又可减小钢管局部失稳的可能性。钢围檩可参考基坑钢围檩做法,对其局部稳定性进行验算,并通过设置加劲板避免钢围檩产生局部失稳问题。

同时,在施工过程中应加强对钢构件的保护,避免对钢构件造成不可逆的破坏。

3.4 围堰型式和材料的选择

围堰构件型式和材料的选择应遵循安全、经济、方便的原则,在保证结构安全性的前提下,应优先采用制式的截面型式和材料,减少现场的加工量。

钢围堰目前的型式有很多种,包括拉森钢板桩、带不同锁扣型式的钢管桩,以及多种型式的组合截面^[8-9]。一般来讲,深水区围堰既要满足止水需要,又要满足受力需求。一般均需要在现有材料的基础上进行进一步的加工,特别是接头的加工。这时若能选择可在工厂里加工或者加工量少的接头,将会大大提升工程的经济性。

同时,钢围堰构件材料的选择也有多种。例如,拉杆材料,当采用一般的Q500钢材时,可能需要选取的截面就很大,而且两端端头处还需现场加工;若采用工厂加工成套的高强度拉杆,屈服强度高,且自配高强螺栓和两端螺口,大大减少了连接的加工量。

3.5 围堰线型的选择和转角处理

钢围堰内外两侧的钢构件一般是一一对应的,特别是在水深较深时,每根钢构件上面均需要布设多根钢拉杆。这就要求内外两侧的钢构件数目一致。一般来讲,外侧钢构件需要止水,所以是搭接的,且围堰外侧实际平面长度要大于内侧的长度,就导致外侧构件数量一般要多于内侧构件数量,而内侧构

件除钢板桩外,一般都不是连续的,故可以通过调整内侧钢构件的间距达到要求。在转角部位,如果转角过大,内侧钢构件间距太小难以布置;若采用大半径圆弧过渡的方式,钢围檩很难与钢构件密贴,影响围堰的整体性。故笔者认为比较科学的办法是采用多段折线实现过渡,或者在围堰中间布设一定的辅助钢板(管)桩,保证转角处的整体性。

3.6 围堰分期实施

一般来讲,在水域中施工隧道时,是不允许断流的,这就需要分期实施。在二期施工时,已建隧道顶部上方需要设置临时挡水结构。挡水结构有围堰和混凝土挡水墙两种。当水深较深时,采用混凝土挡水墙所需的截面大,同时施工结束后水下切割工作量大,所以宜在隧道顶部浇筑钢筋混凝土卡槽设置钢围堰与两侧围堰接顺,便于后期拆除,但须保证卡槽内密实,防止漏水。当水深较浅、拆除方便时,可采用混凝土挡水墙。

3.7 围堰顶施工荷载

围堰顶可能存在的施工荷载有填土过程中的施工荷载、围堰顶当作施工便道所产生的施工荷载。

本工程在设计过程中,对上述两种工况均进行了考虑,取施工荷载20 kPa,对围堰进行了稳定性和承载力验算。但从类似项目经验看,围堰顶当作施工便道荷载难以控制,容易对围堰拉杆产生破坏,继而产生整体性破坏,故设计文件中明确围堰顶不能用作施工便道。

4 监测方案和现场监测

钢围堰主要监测项目为围堰顶部的竖向位移和水平位移。其报警值并无相应的规范规定,设计对钢围堰进行了有限元分析,计算出竖向沉降和水平位移,分别为6 cm、4 cm,取计算值的75%作为报警值,即围堰顶部竖向位移和水平位移监测报警值分别取4.5 cm、3 cm。

现场监测结果显示,湖中段水平位移均逼近设计计算结果,其余监测内容均在报警值内。

5 结论

通过本工程,对湖底明挖隧道钢围堰形成了以下经验,可供后续类似工程参考。

(1)本文系统地提出了湖底明挖隧道钢围堰的稳定性和承载力计算方法,特别是提出了可基于软件操作的整体稳定性计算方法,并对围堰内土压力的

计算方法进行了讨论,指出当围堰高宽比较大时,围堰内的土压力应为有限范围的主动土压力。

(2)不同工程应根据自身情况,特别是平面线型、工程地质、水文条件因地制宜地选择钢构件的种类和型式,钢围堰的断面和平面型式。

(3)施工过程中应严格控制施工对钢围堰的影响,避免对钢构件产生破坏,建议围堰顶不作为施工便道使用,基坑内部施工过程应加强对钢构件的保护。湖底明挖隧道钢围堰没有相应的监测标准,监测报警值可通过设计计算结果确定。

参考文献:

[1] 陈明星. 明挖法湖底隧道施工过程中围堰及基坑安全性分析[D]. 武汉:武汉理工大学, 2013.

[2] 徐汉平, 黄雪阳. 沉管隧道双排钢板桩围堰支护计算探讨[J]. 广东土木与建筑, 2019(2): 51-53.

[3] 余雯. 龙湖隧道工程双排钢板桩围堰结构研究[J]. 城市道桥与防洪, 2020(5): 213-215.

[4] 赵振平. 京杭运河围堰施工受力分析[J]. 公路, 2014(3): 115-117.

[5] 杨鲤铭, 康建旗. 浅海隧道基坑双排钢板桩围堰支护数值研究[J]. 港工技术, 2020(4): 101-106.

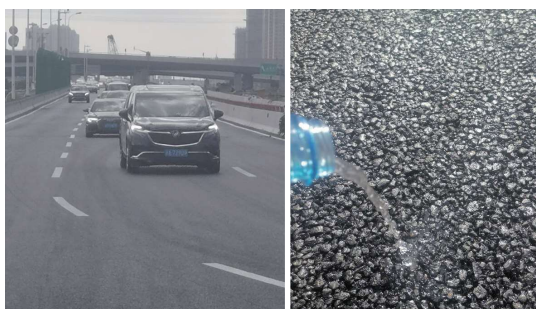
[6] 乔长庆. 软基上施工双排钢管桩筑土围堰技术研究[J]. 江西建材, 2017(11): 92, 96.

[7] 李芸, 袁海东. 双排钢管桩围堰施工设计——以太湖西山岛出入通道1号桥为例[J]. 工程施工技术, 2017(3): 151-154.

[8] 戴熙彪, 王礼兵, 彭琳琳. CO 锁扣钢管桩围堰在新建皖河大桥的应用[J]. 中国水运, 2015(8): 219-221.

[9] 郑雄伟. 双排钢板桩施工围堰方案比较[J]. 中国水运, 2014(7): 376-377.

(上接第 317 页)



(a) 摊铺完成

(b) 渗水效果

图6 通车与渗水效果

青与集料拌和制备的 OGFC-13 沥青混合料,可成功换铺高架道路常规性沥青路面。OGFC-13 沥青混合料不仅各项性能指标良好,而且路面指标也符合标准和设计要求。

本研究载体为高架道路路面换铺装项目,虽然规模不大,但具有代表性,且随着海绵城市建设的不断

推进,同类项目将越来越多。因此,本研究成果具有参考意义。

参考文献:

[1] 余芳, 韦明. 海绵城市 OGFC 排水型路面路用性能试验研究[J]. 西部交通科技, 2018(12): 14-17.

[2] 邢磊, 高煜. 城市道路沥青路面铺装用混合料特性分析[J]. 中国科技投资, 2019(12): 25, 58.

[3] 吴建涛, 马鑫源, 王浩安, 等. 环境与车辙影响下 OGFC 空隙率与吸声系数相关性[J]. 华东交通大学学报, 2019(4): 17-23.

[4] 王辉, 董欣雨, 邓乔, 等. 沥青混合料吸声性能[J]. 建筑材料学报, 2018(4): 634-638.

[5] 李伟. 公路沥青路面性能特点及发展历程研究[J]. 新疆交通运输科技, 2018(2): 140-142.

[6] JTG F40—2017, 公路沥青路面施工技术规范[S].

[7] JTG E20—2011, 公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].

[8] JTG/T 3350-03—2020, 排水沥青路面设计与施工技术规范[S].