



# 不同标准对长江干线水下隧道埋置深度 技术要求对比分析\*

李靓亮

(中铁第四勘察设计院集团有限公司, 中国铁建股份有限公司桥梁工程实验室, 湖北 武汉 430063)

**摘要:** 近年来, 长江干线水下隧道数量日益增加。针对水下隧道埋置深度问题, 分析 GB 50139—2014《内河通航标准》、JTS 180-4—2020《长江干线通航标准》及 JTS 180-3—2018《海轮航道通航标准》的技术要求, 结合 2 个典型案例对 3 个标准进行对比分析, 并提出对标准相应条款进行修订的建议。结果表明: 不同隧址河道特性及航道条件等不同, 3 个标准对埋置深度要求差异大, 部分条款甚至与实际不完全相符, 若执行不当, 会对水下隧道纵断面布置造成较大影响。建议长江干线水下隧道埋置深度不宜教条以 3 个标准中某一标准确定控制线, 应结合隧址断面河床现状、可能冲刷等情况综合对比分析后, 选择科学合理的条款予以执行。

**关键词:** 水下隧道; 埋置深度; 航道底高程; 最大冲刷; 标准修订

中图分类号: U459.5; U612

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)12-0167-05

## Different standards comparison of buried depth requirements of underwater tunnel in trunk stream of the Yangtze River

LI Liangliang<sup>1,2</sup>

(China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd.,

China Railway Construction Laboratory of Bridge Engineering, Wuhan 430063, China)

**Abstract:** In recent years, the number of underwater tunnels in the trunk stream of the Yangtze River has increased. In response to the problem of the buried depths of underwater tunnels, we analyze requirements of GB 50139-2014 *Navigation Standard of Inland Waterway*, JTS 180-4-2020 *Navigation Standard of the Trunk Stream Changjiang River*, and JTS 180-3-2018 *Navigation Standard of Waterways for Seagoing Vessel*. Then we analyze and compare requirements in the three standards combining with two cases, and put forward suggestions for revising corresponding terms of standards. The results show that waterways characteristics and conditions of different tunnel sites are different, the three standards have a large difference in requirements of the buried depth, and some terms are even incomplete to the actual situation. If executed improperly, it will have a greater impact on the vertical layout of the underwater tunnel. It is recommended that buried depths of underwater tunnels in the trunk stream of the Yangtze River should not be used to determine the control line at a certain standard in the three standards. After comprehensive comparative analysis of the current situation of the river bed of the section of the tunnel, and possible scour, the scientific and reasonable clause should be implemented after comprehensive comparison and analysis.

**Keywords:** underwater tunnel; buried depth; bottom elevation of waterway; max flush; standard revision

收稿日期: 2024-03-18

\*基金项目: 铁四院科研课题(2017K006、2022K086)

作者简介: 李靓亮(1985—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事桥梁工程水文设计与咨询。

2020年3月,国家发展改革委发布了《长江干线过江通道布局规划(2020—2035年)》<sup>[1]</sup>,长江干线过江通道迎来新一轮建设高潮,相比较桥梁建设条件的严苛性,水下隧道选址则相对灵活,并且由于对航道、港口码头及船舶通航等航运影响小的优势。近年来,长江干线水下隧道建设迎势而上并不断推进,工程数量日益增加。

在隧道的设计过程中,如何确定水中段隧道最小覆盖层厚度,不仅关系隧道功能实现,直接影响隧道成本,而且对后续施工安全与运营稳定也有较大影响<sup>[2]</sup>。在保证施工安全情况下,隧道覆盖层厚度越小,作用在隧道结构上静水压力就越小,隧道结构尺寸也可以越小,同时,在隧道坡度一定的前提下,隧道长度就越短,与两端的接线越容易,隧道工程造价越低<sup>[3]</sup>。因此,隧道最小覆盖层厚度是水下隧道设计的一个重要控制指标。

目前对于最小覆盖层厚度的确定世界各国还没有统一准则<sup>[4]</sup>,工程类比确定覆盖层厚度仍是一个重要方法<sup>[5]</sup>,考虑因素包括施工安全、功能需求、两端接线条件、工程地质与水文地质条件及隧道断面尺寸等,在诸如长江、黄河等穿江穿海的水下隧道,河床最大冲刷、规划航道底高程和船舶锚击入土安全深度等因素成为控制最小覆盖层厚度的主要控制因素。

## 1 通航标准关于隧道埋深要求

针对水下隧道埋深要求,标准并未直接规定,主要引用标准中关于水下过河建筑物选址与布置条款进行分析,水下过河建筑物包括隧道、管道、取(排)水口,水下隧道作为其中一种,主要有以下规定要求。

GB 50139—2014《内河通航标准》<sup>[6]</sup>(简称“内河标准”)第5.3.2条规定:在航道和可能通航的水域内布置水下过河建筑物,应埋置于河床内,其顶部设置深度,I~V级航道不应小于远期规划航道底高程以下2 m。考虑到长江干线的特殊性,JTS 180-4—2020《长江干线通航标准》<sup>[7]</sup>(简称

“长江标准”)第5.3.3条规定:水下过河建筑物应埋置于河床面以下,并留有足够的埋置深度;布置在航道内的,其顶部设置深度不得小于远期规划航道底高程以下4 m;布置在航道外通航水域的,埋置于河床面以下不应小于2 m;其埋置深度,尚应考虑局部河床下切、航行船舶应急抛锚等影响。JTS 180-3—2018《海轮航道通航标准》<sup>[8]</sup>(简称“海轮标准”)要求在海床、河床不稳定的水域,应考虑航道可能冲刷的最大深度。在考虑航道疏浚超深、冲刷和天然水深等要素的基础上,其安全富余深度不应小于2 m;同时安全富余深度不应小于锚击深度,锚击深度应通过专题研究论证确定。

## 2 不同标准关于隧道埋深要求的差异性分析

### 2.1 关于航道底高程对隧道埋深的要求

对比3个标准关于隧道埋置深度的要求,有较大差异,其中主要在航道底高程及埋置于河床内两方面要求。

对比内河标准和长江标准,考虑到长江干线的特殊性,长江标准应高于内河标准,航道内长江标准要求与远期航道底高程富余度不小于4 m,高于内河标准要求的2 m,但在航道之外的通航水域有所区别,内河标准维持与航道内要求相同,长江标准要求埋置于河床面以下不小于2 m。长江干线航道上大多数河段河槽呈复式断面,河槽两岸或一岸侧有边滩,有的属于低滩,中高水期淹没在水下,滩地高程相对较低,但正常情况下难以开通为航道,只有航道条件发生变迁,或者未来为满足航运需求,通过工程措施有可能开发利用的水域,按照标准该类水域界定为航道外通航水域,该区段河床面低于远期规划航道底高程,由内河标准确定的埋置深度控制线高于长江标准控制线见图1a),即长江标准严于内河标准;如果航道外通航水域高程相对较高,规划航道底高程低于该区段河床面,由内河标准确定的埋置深度控制线低于长江标准控制线见图1b),即内河标准反而严于长江标准。

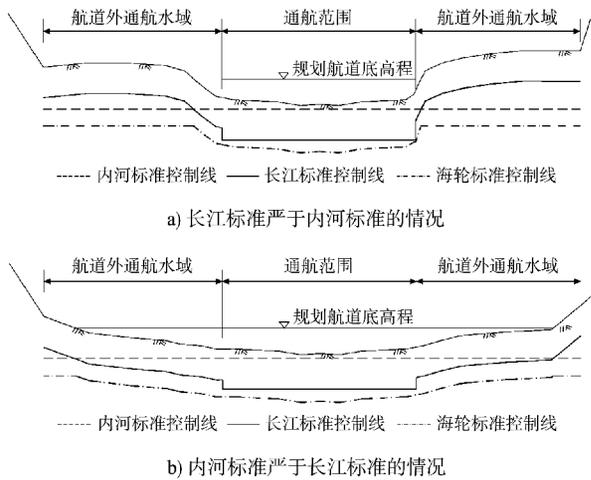


图 1 不同标准对水下隧道在通航水域埋置要求

海轮标准与前述两个标准则更不同，规定当自然水深小于航道设计水深时，航道计算底高程取规划航道底高程；当自然水深大于航道设计水深时，航道计算底高程可取航道范围内海床或河床的最低高程。条款未明确自然水深起算基面，若以设计最低通航水位起算，考虑富余深度，海轮标准确定的控制线则更低。并且由控制线形状可清晰说明 3 个标准的差异，内河标准在航道与通航水域范围内是直线；长江标准是航道内直线，航道外曲线形状；海轮标准航道内河床线，航道外直线形状。

### 2.2 关于埋置河床内的要求

内河标准规定隧道在航道和可能通航的水域内应埋置于河床内；长江标准要求埋置深度应考虑局部河床冲刷、航行船舶应急抛锚等影响，在内河标准埋置在河床内的基础上，还应考虑抛锚锚击深度的富余；海轮标准规定要求更加具体，在考虑航道冲刷和天然水深等要素的基础上，其安全富余深度不应小于 2 m，同时不小于锚击深度，并且要求在河床不稳定水域航道冲刷为可能冲刷的最大深度。

综合对比 3 个标准的两项规定，内河标准和长江标准关于航道底高程和埋置河床两方面要求属于是并行条款，长江干线河床冲淤幅度大，尤其随着上游水库群持续联合运用，下泄沙量大幅

减少，河床出现明显冲刷，并且预计未来长江中下游干流河段总体仍呈冲刷趋势<sup>[9]</sup>，在考虑河床冲刷时一般会大于 4 m<sup>[10]</sup>，所以埋置于河床内，并留有一定富余的要求高于航道低高程的要求，偏安全的控制线是以最大冲刷线作为基准线，再考虑锚击深度值叠加后确定，控制线形状与河床线基本相似，见图 2。

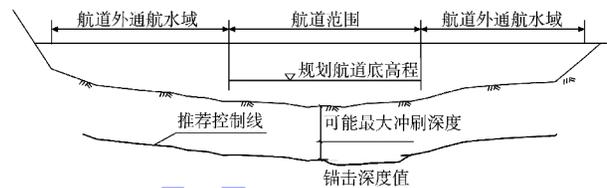


图 2 长江标准对水下隧道埋置控制线

海轮标准将航道底高程和埋置河床两方面融合确定<sup>[11]</sup>，将最大冲刷值、锚击深度与 2 m 的大值作为安全距离进行考虑，其基准线以航道底高程和河床线的低值为准，一般在航道内曲线，航道外呈直线形状，见图 3。

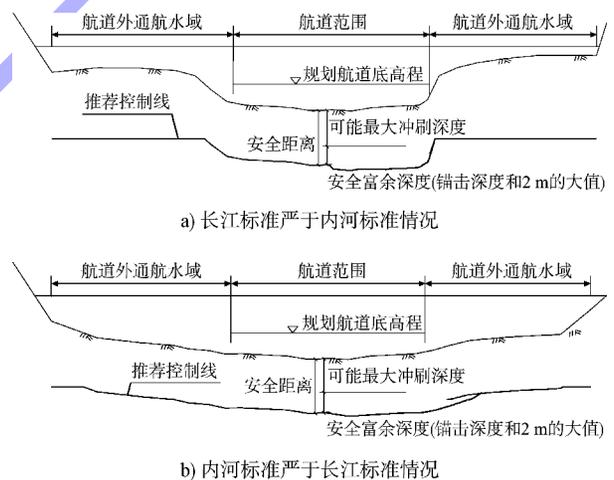


图 3 海轮标准对水下隧道埋置控制线

通过进一步对比分析，若隧址断面处呈宽浅形，无水下浅滩或暗沙，则隧道埋置深度推荐控制线对于 3 个标准基本相同，若断面呈“V”形，河道内有水下滩地，或两岸近航道侧的边滩河床较高，由海轮标准确定的推荐控制线在近岸侧低于长江标准。另外，由于锚击深度与船舶吨级及地质条件密切相关，在砂质底层，1 万吨级船舶抛锚贯入深度在 2 m 以内<sup>[12]</sup>；在硬地质中，5 万吨级

船抛锚贯入深度也在 2 m 以内<sup>[13]</sup>，在该类情况下，采用海轮标准确定的推荐控制线整体低于长江标准，即海轮标准严于长江标准。

针对上述差异性，在针对具体工程时，应首先结合隧址处河势、航道及通航条件进行分析，选择合理的标准条文执行。

### 3 某过江通道埋置深度技术要求分析

#### 3.1 案例 1

以长江下游某过江通道为例，根据河床及航道条件分析，隧址处河道单一，左岸为边滩，范围较宽，右岸为深槽，深槽位置基本稳定，河床断面呈偏“V”形，多年来断面左侧河床高程在 5 m 以上，断面右侧最深点高程变化范围为-4.0~4.4 m。根据模型试验结果，在预测最大冲刷情况下，隧址断面最深点最大冲刷幅度为 12.6 m。主航道位置也一直位于偏右岸侧，航道水域宽阔、水深充

裕，远期规划航道水深为 6.0 m，计算确定对应航道底高程为 3.76 m，计算抛锚代表船舶落锚在细砂条件下的贯穿深度为 2.43 m。

根据 3 个标准分别确定的航道及冲刷控制线见图 4。在航道外通航水域区段，长江标准与内河标准差别较大，并且内河标准严于长江标准，在考虑可能最大冲刷后，在深水区段，长江标准和海轮标准相差不大，在近岸侧海轮标准以航道底高程作为基准，埋置要求远高于其他标准。但实际上，近年来，长江两岸实施了大量护岸工程，岸线基本稳定，在航道外通航水域范围河床线不会达到海轮标准确定的控制线，并且从隧道纵断面布置来看，深水区埋置较深，为满足两岸接线，深水区两端尽可能的快速爬升，若按海轮标准确定的控制线，将对隧道方案的可行性造成较大影响，所以推荐长江标准确定的控制线是合理的。

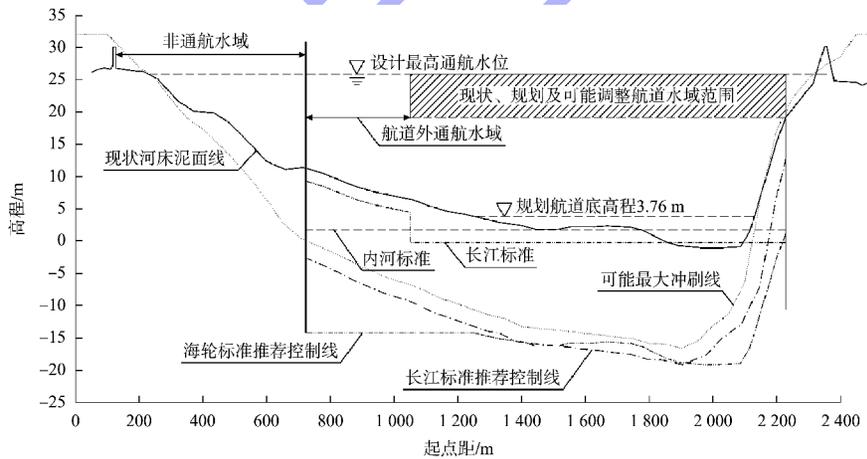


图 4 案例 1 水下隧道埋置控制线

#### 3.2 案例 2

与上述通道相距不远的另一条通道，位于其上游，隧址处河道顺直，河道宽浅，河床发生最大冲深后，河床冲刷幅度最大约为 14.8 m。远期规划航道水深为 4.5 m，对应航道底高程为 5.67 m，计算抛锚代表船舶落锚在细砂地底条件下的贯穿深度为 1.48 m。

根据 3 个标准分别确定的航道及冲刷控制

线见图 5。在航道外通航水域区段，尽管长江标准严于内河标准，但右侧区域由于现状河床高程相对主航道河床底，由此确定的航道外控制线甚至低于航道范围内，明显不合理。在考虑可能最大冲刷后，按照海轮标准，整个河道断面控制线高程基本相当，左岸侧隧道应再下降，显然这不利于隧道纵断面布置和两岸接线，也与实际不符。

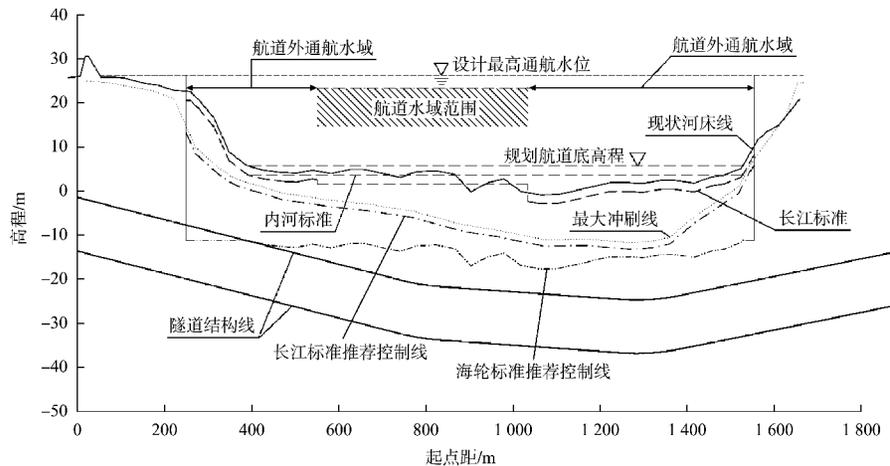


图 5 案例 2 水下隧道埋置控制线

#### 4 结论

1) 内河标准要求水下隧道埋置于河床内, 一般以最大冲刷线作为控制, 未考虑河床冲刷后仍会有船舶应急抛锚等行为, 冗余度过小, 在大江大河中难以完全满足要求。

2) 长江标准考虑长江干线特殊性, 制定了较内河标准更严格的要求, 埋置深度考虑河床冲刷、航行船舶应急抛锚等影响, 但针对在航道外通航水域以河床线作基准进行控制存在明显不合理, 比如在河床较高的通航水域, 长江标准要求低于内河标准; 在河床较低的通航水域, 航道外标准反而高于航道, 与制定标准初衷相悖。

3) 长江干线中下游通航海轮, 需要另外执行海轮标准, 该标准与长江干线也有不相符之处: ①该标准将可能最大冲刷值作为安全距离的组成部分, 实际上整个断面最大冲刷不可能完全一致, 采用统一值与实际不符; ②通航水域近岸侧以航道底高程作为基准, 再考虑最大冲刷和安全冗余深度确定的控制线过于严格, 若直接引用, 可能导致隧道纵坡过大, 甚至影响两端接线。

4) 为维持标准的严肃性和权威性, 建议对部分条款予以修改, 尤其是长江标准和海轮标准: ①在经过大量调研和分析后, 宜统一长江标准和海轮标准关于隧道埋置深度规定要求, 比如基准

线、安全距离的组成部分和取值; ②建议针对隧道埋置深度要求单列一条, 并且简易化, 以可能最大冲刷线为基准, 考虑锚击深度和一定安全冗余值作为安全距离, 该条规定完全可包络对航道底高程的具体要求, 避免相互之间存在矛盾, 从而影响标准的严肃性。具体可修改如下: 在航道和通航水域内布置水下过河建筑物, 宜埋置于河床内, 其顶部设置深度应考虑河床可能最大冲刷(或航道炸礁及疏浚)、船舶应急抛锚贯入及安全冗余深度等叠加影响, 必要时经专题论证确定。

#### 参考文献:

- [1] 国家发展改革委. 长江干线过江通道布局规划(2020—2035年)[A]. 北京: 国家发展改革委, 2020.
- [2] 陈海军. 基于工程技术措施下的水下隧道最小覆盖层厚度确定方法: 以长沙市营盘路湘江隧道为例[J]. 隧道建设, 2015, 35(11): 1134-1140.
- [3] 宋超业, 周书明, 谭志文. 水下盾构隧道合理覆盖层厚度的探讨[J]. 现代隧道技术, 2008, 45(S1): 47-51.
- [4] 钱七虎. 水下隧道工程实践面临的挑战、对策及思考[J]. 隧道建设, 2014, 34(6): 503-507.
- [5] 王梦恕, 皇甫明. 海底隧道修建中的关键问题[J]. 建筑科学与工程学报, 2005(4): 1-4.
- [6] 长江航道局. 内河通航标准: GB 50139—2014[S]. 北京: 中国计划出版社, 2014.