

经验公式计算某管道长江穿越冲刷深度的分析

常怀民¹, 詹胜文²

(1.北京交通大学经济管理学院, 北京 100044; 2.中国石油天然气管道工程有限公司, 河北廊坊 065000)

摘 要: 在管道穿越河流过程中, 设计洪水下河流的一般冲刷深度往往决定管道的埋设深度。一般冲刷是一种使下游河道自上而下发生的长距离冲刷, 但随着冲刷的不断发展, 河床沙粒径逐渐粗化, 形成抗冲保护层限制冲刷发展, 并将很快趋于稳定。河流的冲刷计算经验公式很多, 文章简要介绍几个常用的公式, 具体针对某管道工程长江穿越的断面进行计算, 并对计算结果进行分析。

关键词: 管道; 穿越; 河流; 冲刷深度; 计算

中图分类号: TE973.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-2206 (2007) 05-0016-03

0 引言

管道穿越处可能的最大冲刷深度, 直接关系到水下管道顶部的高程, 也关系到工程的安全与造价, 因此冲刷深度的确定是一项十分慎重的工

程。某管道工程在武汉附近穿越长江, 对于管道穿越工程的设计, 除了需要了解河段已经发生的冲淤变化及基本规律外, 还有必要对将来一定水沙条件下的河床冲淤情况进行预估。目前, 对于大型工程

表 5 不同工况下丙烯罐、乙烯罐的强度校核

项目		丙烯罐		乙烯罐	
		水压试验	最大工作载荷	水压试验	最大工作载荷
最大径	数值	42.1 mm	25.7 mm	45.3 mm	37.8 mm
向膨胀	部位	距罐底 2.697 m	距罐底 2.569 m	距罐底 1.833 m	距罐底 2.006 m
大角焊缝最大应力强度校核		417 MPa < $[\sigma]_t = 796.5$ MPa 合格	255 MPa < $[\sigma] = 434.4$ MPa 合格	504 MPa < $[\sigma]_t = 1\,137.6$ MPa 合格	409 MPa < $[\sigma] = 689.4$ MPa 合格
壁板最大应力强度校核	校核	254 MPa < $[\sigma]_t = 265.5$ MPa 合格	144.6 MPa < $[\sigma] = 144.8$ MPa 合格	289.2 MPa < $[\sigma]_t = 379.2$ MPa 合格	215 MPa < $[\sigma] = 229.8$ MPa 合格
	部位	距罐底 1.753 m	距罐底 1.759 m	距罐底 1.317 m	距罐底 1.340 m

最大工作载荷条件下均符合强度要求, 其中在最大工作载荷下, 罐壁板上应力强度余量不大, 表明储罐设计经济合理。考虑到这 2 座储罐设计时选取的腐蚀裕量为零, 应力强度余量又不大, 所以在以后的检测过程中要特别注意储罐罐体的腐蚀, 以避免因壁厚不足导致强度破坏。

参考文献:

- [1] API 620. Design and Construction of Large, Welded, Low-Pressure Storage Tanks[S]. 2002.
- [2] ASTM Standard A 553/A553 M-95 (2000). Standard Specification for Pressure Vessel Plates, Alloy Steel, Quenched and Tempered 8

and 9 Percent Nickel[S].

- [3] ASTM Standard A 353/A553 M-93 (1999). Standard Specification for Pressure Vessel Plates, Alloy Steel, 9 Percent Nickel, Double-Normalized and Tempered[S].
- [4] 段光兴. 大型低温储罐焊接概要[J]. 石油化工建设, 2006, 28(2): 25-30, 46.

作者简介: 沈建民 (1980-), 男, 浙江宁波人, 助理工程师, 工学硕士, 毕业于浙江大学化工过程机械专业, 现主要从事压力容器、压力管道等石化设备的应力分析和检验工作。
收稿日期: 2006-12-22

或重要河段, 一般采用动床数学模型计算或动床物理模型试验研究, 一般情况下可采用规范推荐的经验公式结合实测资料, 进行冲刷和淤积分析计算。由于动床数学模型计算或动床物理模型试验研究较复杂, 考虑到管道工程设计及应用情况, 这里只讨论采用经验公式法对河床冲淤进行估算。

1 工程穿越处最大可能冲刷深度分析

工程河段河床冲刷深度的分析涉及到两方面的内容: 一是正常水沙条件下河段桥址隧址断面河床本身的正常冲淤变幅, 二是未来三峡水库建成蓄水运用后, 由于水库拦沙引起的坝下游河床系统冲刷下切, 可能引起的穿越断面冲刷下切。前者可通过河段河床演变分析确定, 后者由于问题复杂, 需通过多种途径分析计算。

河床冲刷粗化计算。三峡水库蓄水运用后, 在水库未淤积平衡前, 由于水库拦沙, 将改变下泄水流的含沙量及其含沙级配, 从而引起坝下游河道长距离的系统冲刷下切, 但冲刷下切不是无止境的, 它将受到河道侵蚀控制基面和河床粗化保护层的限制。一般可根据河段河床质(非均匀沙)的级配, 在河床中取单位柱体, 由床面向下按最大粗化粒径的厚度, 逐层向下计算冲刷量, 每冲刷一层, 将留下一些级配曲线中冲不走的粗颗粒泥沙; 当留下的粗颗粒泥沙在床面上形成一定厚度的粗化保护层时, 河床便不再向下冲刷, 此时便可求出河床的可能最大冲刷深度。

2 计算公式

(1) 集中水流局部冲刷坑 Iacey 公式:

$$h_s = 0.47 \times k \times \left(\frac{Q}{1.76 D_m^{0.5}} \right)^{\frac{1}{3}}$$

式中 h_s ——冲刷坑深度/m;

k ——冲刷坑系数, 一般取 0.25;

Q ——水流量/(m^3/s);

D_m ——床沙的平均粒径/mm。

(2) 谢鉴衡公式:

$$h_x = \left(\frac{q}{akd^{0.33}} \right)^{0.86}$$

式中 h_x ——一般冲刷后水深/m;

q ——单宽水流量/(m^3/s);

a ——修正系数, 一般取 1;

k ——系数, 一般取 4.6;

d ——床沙粒径/mm。

首先用 $d = \left(\frac{q}{akh^{0.86}} \right)^3$ 求 d , 直到 $\sum_{i=1}^{1-n} P_{1-n} / 100 =$

$/ h \cdot (1 - k) / (1 -)$ 时的水深 h 。

式中 n ——河床粗化后的糙率;

h ——平均水深/m;

P_{1-n} ——粒径 d_1 到 d_n 的含量百分数之差;

——粗化层厚度/m;

——孔隙率;

k ——粗化颗粒的孔隙率;

h ——粗化层深度/m。

根据曼宁公式:

平均流速 \bar{v} :

$$\bar{v} = \frac{1}{n} h^{2/3} J^{1/2}$$

单宽流量 q :

$$q = \bar{v} h = \frac{1}{n} h^{5/3} J^{1/2}$$

总流量 Q :

$$Q = \int_0^B q dB = \frac{1}{n} J^{1/2} \int_0^B h^{5/3} dB$$

将总流量公式代入平均流速和单宽流量公式, 得:

$$\bar{v} = \frac{Qh^{2/3}}{\int_0^B h^{5/3} dB}$$

$$q = \bar{v} h = \frac{Qh^{5/3}}{\int_0^B h^{5/3} dB}$$

式中 J ——冲刷后的河道比降;

B ——河宽/m。

这样有了河道流量 Q 和过水横断面各处水深 h

就可计算沿河宽 B 的积分面积 $\int_0^B h^{5/3} dB$, 进而得出断面上的垂线平均流速和单宽流量的分布, 结合土质抗冲性可以判断冲深情况及其冲淤平衡的稳定河床断面。

(3) 公路规范公式。穿越断面主河床上层为细沙, 采用 JTJ 062-1991 《公路桥位勘测设计规范》推荐的 64-1 修正公式计算, 该公式为铁道部科学研究院阚译等人 1964 年推导得出的, 适合于非黏性土河床的一般冲刷计算。

$$h_p = \left[\frac{A Q_2}{\mu B_c} \left(\frac{h_{\max}}{h_c} \right)^{5/3} \right]^{3/5} \frac{1}{E d^{1/6}}$$

式中 h_p ——一般冲刷后水深/m;

A ——单宽流量集中系数, $A=(B^{0.5}/H)^{0.15}$, B 、 H 分别为平滩水位时河槽宽度和河槽平均水深;

Q_2 ——河槽部分通过的设计流量/(m^3/s);

μ ——水流侧向压缩系数, 查阅规范确定;

B_c ——桥下河槽部分桥孔过水净宽/m;

h_{\max} ——桥下河槽最大水深/m;

h_c ——桥下河槽平均水深/m;

E ——与汛期含沙量有关的系数;

d ——河槽泥沙平均粒径/mm。

(4) 包尔达可夫公式。本公式假定在有底沙运动的河流上, 当桥下的流速恢复到建桥以前的天然流速时, 冲刷即可停止, 河槽断面上任一垂线上的冲刷深度与其水深成正比。包氏公式未考虑水流集中冲刷的因素, 也未考虑河床土质情况, 但在一些发生集中冲刷的河流, 冲刷往往不与水深成正比, 而是集中发生在某一部分特别深、其他部分甚至有淤高的地方, 本公式只适用于平原及山区稳定河段, 该公式为:

$$h_p = Ph = \frac{W_{需}}{W_{供}} h$$

式中 h_p ——一般冲刷后的水深/m;

P ——冲刷系数, 平原区河段取 1.3;

h ——冲刷前的垂线水深/m;

$W_{需}$ ——桥下需要过水面积/ m^2 ;

$W_{供}$ ——桥下供给面积/ m^2 。

3 计算边界条件

(1) 水文条件。考虑拟建工程的重要性, 计算河床冲刷下切深度采用的水位条件为 100 年一遇。拟建工程位于汉口以下河段, 自汉口至穿越断面无较大支流汇入, 100 年一遇洪峰流量采用汉口站水文计算成果。 $Q_{1\%} = 77\,700\,m^3/s$ 。

(2) 床沙粒径。工程河段穿越处的最大冲刷深度计算一般需要当地河床沙资料, 地质勘探资料显示, 穿越断面主河床上层主要为细沙, 本次最大冲刷深度采用其成果进行计算。床沙平均粒径 $D_m =$

0.124 mm。

4 计算结果

(1) 按集中水流局部冲刷坑 lacey 公式计算, 集中水流局部冲刷坑深度为 5.9 m。

(2) 按谢鉴衡公式进行粗化计算, 河床最大冲刷的深度为 7.9 m。

(3) 按公路规范 64-1 修正公式计算, 河床冲刷深度为 11.8 m。

(4) 按包尔达可夫公式计算, 河床冲刷深度为 10.6 m。

5 成果分析

(1) lacey 公式。此公式是经常引用的沙性河床冲刷平衡公式, 计算结果偏小。

(2) 谢鉴衡公式。此式是局部冲刷理论推导公式结合河道水流特点和各种土质河床的允许流速实测资料加以整理得出的一个适宜的经验公式。此式若与 Lacey 公式比较, 计算的冲刷坑稍深。

(3) 公路规范 64-1 修正公式。64-1 公式是沿用 60 年代初期铁道部门研究提出的 64-1 公式, 现进行了修正, 此公式不适用于高含沙水流条件。在高含沙水流条件下, 河床的冲刷深度计算可以参考张瑞谨公式^[1]。

(4) 包尔达可夫公式。包尔达可夫公式假定: 当桥下断面平均流速等于原断面平均流速时, 桥下断面冲刷将随之停止, 过水断面将不再变形。此公式比较适合于建桥后断面局部冲刷深度计算。

另外, GB 50286-1998 《堤防工程设计规范》中 D.2 冲刷计算考虑的边界条件较少, 计算值偏小, 可以参考。SL 265-2001 《水闸设计规范》中 B.3 冲刷计算着重考虑水闸下面的跌坎冲刷计算。

由上面分析可知, 此工程长江穿越断面泥沙含量不大, 推荐采用公路规范 64-1 修正公式, 计算结果较安全。

参考文献:

- [1] 秦毅, 钱善琪, 王冰怀. 高含沙河流管道穿越冲深设计与计算 [J]. 油气储运, 2001, 20(4): 23-25.

作者简介: 常怀民 (1972-), 男, 河北廊坊人, 高级工程师, 现为北京交通大学经济管理专业在职 MBA, 主要从事管道穿越管理工作。

收稿日期: 2007-05-28; 修回日期: 2007-08-23

SHEN Jian-min (Ningbo Special Equipment Inspection Center, Ningbo 315020, China), ZHU Guo-rong, CHEN Song-sheng, et al.

Abstract: The structures, materials and basic parameters of two $8 \times 10^4 \text{ m}^3$ tanks being built for storing low temperature and atmosphere pressure propylene and ethylene storage tanks are introduced. The axisymmetric finite element method was used to analyze the stress distribution of these tanks, and the strength check of the tanks was conducted in light of the results of stress analysis. The results showed that the strength requirements of the two tanks in hydraulic test and under maximum working load were satisfied and the tank designs were economical and reasonable.

Key words: low temperature storage tank; stress analysis; finite element; stress check

(16) Scouring Depth Analysis of Pipeline Crossing through Yangtse River Using Empirical Formulas

CHANG Huai-min (Economic Management Collage of Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China), ZHAN Sheng-wen

Abstract: In pipeline river crossing projects, the pipeline embedded depth is usually dependent on ordinary scouring depth, that is a kind of long distance scouring occurred downstream at riverbed under the design flood condition. With the scouring development, the average sand grain diameter at riverbed increases gradually and forms a protective layer against scouring, then the scouring tends to be stable. There are many empirical formulas for river scouring calculation. This paper introduces several formulas in common use and apply them to the cross-section calculations of the pipeline crossing through the Yangtse River and analyzes the calculated results.

Key words: pipeline crossing; river; scouring depth; calculation

· ENGINEERING DESIGN ·

(19) Low Temperature LNG Storage Tank Design and Construction Technology

YUAN Zhong-li (CNPC Research Institute of Engineering Technology, Tianjin 300451, China), YAN Lun-jiang

Abstract: This paper introduces the technical features, tank structures and design criterions of low temperature LNG storage tanks, describes the technical requirements of construction and the key points of inspection of the foundations, walls, tops and thermal insulation layers of LNG tanks. Finally, it puts forward some suggestions on design and construction of the low temperature LNG storage tanks.

Key words: low temperature LNG storage tank; design; construction

(23) Design and Investigation on Embankment Cross-section of Tarim Desert Highway

GUO Yu-qi (West Zone Office of Tianjin Economic-Technological Development Area, Tianjin 300462, China)

Abstract: Main failure patterns of desert highways are integral roadbed instability, sand burial and wind erosion. The design philosophy should be to choose rational road cross-section form so as to ensure the roadbed strength and stability, at the same time, to avoid various sand hazards. After investigating the characteristics and rules of sand grain squirming motion, the physical motion model of sand grains was established under certain conditions and the theoretical slope of the embankment cross-section of desert highway was derived. The feasibility of the theoretical slope was demonstrated with respect to integral roadbed stability as well as wind-proof and sand consolidating practice.

Key words: desert highway; road embankment; side slope; design

· OCEAN ENGINEERING ·

(26) Research on Centrifugal Casting and Grouting Technique Applied in Subsea Pipeline with Concrete Weight Coat

DING Xin-long (CNPC Research Institute of Engineering Technology, Tianjin 300451, China), HAN Xue-yan, YUAN Zhong-li, et al.

Abstract: Traditional construction methods of pipes with concrete weight coat (CWC) used in subsea pipelines are impingement, intrusion and slipforming, which are all imported at high costs. This paper describes in detail a new construction method of CWC pipes that combines the prestressing, centrifugal casting and grouting techniques as well as the technique of working pipe penetrated into CWC pipe and adhered to-