

# 永定河倒虹吸防护工程综述

穆永梅

(北京市水利规划设计研究院 100044)

永定河倒虹吸工程是南水北调中线京石段应急供水工程(北京段)总干渠穿越永定河的永久建筑物,是中线工程最后一座大型跨河建筑物。

由于倒虹吸工程需要穿越大宁水库副坝,经大宁水库,依次穿过永定河右堤、永定河、永定河左堤等重要的水利设施,做好工程设计中的防护设计显得尤为重要。

## 1 工程概况

《水利水电工程等级划分及洪水标准》规定,对于1级供水工程永久建筑物设计洪水标准为100年一遇,校核洪水标准为300年一遇。永定河属全国第四大防洪河道,防洪等级仅次于长江、黄河和淮河。由于永定河河底高程大大高于北京城区地面高程,其堤防的稳固程度直接影响北京市的防洪安全,多年来始终作为北京市重点防洪河道,备受各级领导关注和水利专家的重视。因此,在修建穿越永定河的建筑物时防洪安全标准要求非常高,南水北调永定河倒虹吸工程的实施将成为在永定河修建的第一个大型一等水利工程。

由于永定河特殊的地理位置,水利部早在1989年已通过正式发文对河道抗冲刷防护设计做了明确要求。水规[1989]2号文《关于永定河卢沟桥至梁各庄段河道整治初步设计批复》确定卢沟桥以下河道设计流量为2500m<sup>3</sup>/s,设计水面线采用1973年北京市水利规划设计研究院和1989年水利部天津勘测设计院推算的水面线的外包线,最大冲刷深度在2500m<sup>3</sup>/s设计流量的水位以下10m。资料显示,该交叉断面处永定河外包线,水位为58.2m,即建筑物设计顶高程应低于48.2m,可认为防冲刷安全。但是,由于近些年永定河河道中砂石料的开采,导致现状河底降低很多,交叉断面上、下游大范围的现状河底约为42m。即现状河底已经低于原冲刷底高程,由此可见,仅满足原文件的限制

要求已不能保证倒虹吸工程的冲刷安全。

为了同时保证跨河建筑物自身的结构安全和建筑物修建完成后永定河河道防洪的安全,工程设计组成员在研究设计防护方案的同时,为了合理确定倒虹吸管身的埋置深度,委托北京市水利科学研究所的科研人员,专门对工程所经永定河段做了模型试验,模拟数个洪峰过程,根据模型试验提供的洪水位进行倒虹吸与河道交叉断面洪水冲刷计算。冲刷深度按《铁路桥渡勘测设计规范》TBJ17-86有关公式进行计算。

永定河河床覆盖层均为砂或砂砾石,故计算公式为:

$$h_p = \left[ \frac{A \frac{Q_c}{B_c} \left( \frac{h_{mc}}{h_c} \right)^{\frac{5}{3}}}{E \bar{d}_c^{\frac{1}{6}}} \right]^{\frac{3}{5}}$$

式中:  $h_p$ —冲刷后的最大水深(m);

$h_{mc}$ —河槽最大水深(m);

$h_c$ —河槽平均水深(m);

$B_c$ —河槽宽度(m);

$Q_c$ —设计流量(m<sup>3</sup>/s);

$E$ —与汛期含沙量有关的系数;

$A$ —单宽流量集中系数;

$\bar{d}_c$ —河槽土平均粒径(mm)。

根据实验结果和水文专业人员计算,推荐交叉断面采用100年一遇,设计洪水位为54.71m,300年一遇校核洪水位为54.76m。根据上述冲刷深度计算公式可知,交叉断面处永定河设计冲刷高程线约为46.5~48.5m,均高于现状河底高程。由此可以推断现状河道河底高程降低只是交叉断面附近的局部情况,从整体河道纵断面看,本段应为淤

区与内含钢筋桁架与挂网的喷混凝土)内,屈服比较小,结构有较大的安全余度。同时计算结果也表明,在隧洞通过立交桥桥柱沉箱基础的部分(洞间净距为3m),地表及沉箱沉降过大,需在一般洞段对隧洞上半部实施管棚超前灌

浆的基础上,对隧洞全断面进行灌浆。

(5) 模型试验。下阶段拟对穿五棵松地铁站段进行模型试验。

(责任编辑:刘培英)

积河道，在通过设计洪水流量  $2500\text{m}^3/\text{s}$  和校核洪水流量  $4000\text{m}^3/\text{s}$  时没有冲刷问题。

## 2 设计方案的演变

(1) 设计方案1。根据上述资料，确定可行性研究阶段第1方案：考虑该段永定河河底地质条件良好，为减少土方开挖，允许部分倒虹吸涵身坐落于回填土（现状砂坑）上，即设计涵底高程39.5m，倒虹吸箱涵净空高3.8m，使涵顶高程高于现状地面2~3m，然后在涵顶护砌2.5m，分别为0.5m的砂砾料垫层，1m的格栅石笼，上铺1m厚干砌块石，涵身两侧回填砂砾料。这种方案优点为：土方工程中开挖量小，但为保证建筑物安全，涵顶护砌工程量大，设计方案形式见图1。

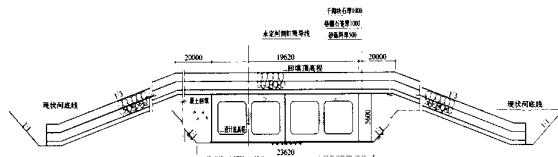


图1 设计方案1的形式图 (单位: mm)

(2) 设计推荐方案。在进行初步设计工作时研究讨论发现：由于护砌顶高程高于现状河底，这样工程建成后将有一道类似小型滚水坝样的建筑横亘于永定河河底。如果发生小流量洪水，会滞蓄在倒虹吸上游，形成局部水面，一旦洪水冲坏涵顶防护结构，将使倒虹吸涵顶暴露出来，且洪水会很快入渗至倒虹吸基础内，引起建筑物基础松动变形，逐步破坏永定河倒虹吸的涵身。因此决定将主河槽段的纵断进行降低调整。同时又考虑到南水北调工程属一等工程，1级建筑物应保障更为安全的可靠度。如遇洪水袭击，涵顶防护工程破坏，应尽量保证主体建筑物的安全。因此将原方案修改为将倒虹吸涵顶高程降至与现状河底基本齐平。但是涵底高程降低必然导致土方开挖量上升，如何在保证结构安全的同时节省投资是设计人员考虑最多的问题，也是工程设计人员工作中追求的目标。由于涵身均未高出地面，相对安全度提高，在减低涵底高程后，通过适当减少涵顶护砌厚度达到节省投资的目标。涵顶防护工程由最初的2.5m防护层减为1.5m，即涵顶垫0.7m砂砾料后再做0.8m浆砌石防护。在主河槽段的工程投资中发现：改进后方案的工程投资并没有因为土方开挖量的增加而加大，反而有所降低。应该说修改方案在倒虹吸结构抗冲刷安全和永定河的行洪条件两个方面均有所改善，同时又可以适当减少工程投资。于是，将该防护工程方案作为设计推荐方案，设计推荐方案形式见图2。

(3) 设计方案3。在其后与多方水利专家的论证中发现，尽管该设计方案涵体更趋安全经济。但历史经验告诉

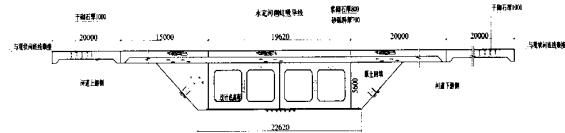


图2 设计推荐方案的形式图 (单位: mm)

我们永定河河势并不稳定，属游荡性河床，其特征表现为小股洪水容易摆动、串槽。为防止初次洪水、中小流量洪水及局部水流对建筑物的局部冲刷，再一次优化设计方案，使得倒虹吸结构更加安全可靠，即涵身及涵顶护砌均不超过现状地面，这样，工程建设完成后不会对永定河河道行洪产生任何影响，只会使该段河道更加顺直，行洪越发顺畅。于是，产生了再次修改的第3方案，即按现状河底倒虹吸顶护砌高程确定倒虹吸埋置深度。并且在倒虹吸涵身断面及上、下游设防冲刷保护带。在倒虹吸涵身断面及上游15m宽、下游20m宽范围内，倒虹吸涵顶设0.9m砂砾料垫层，垫层上采用0.6m厚浆砌块石护砌。两侧边缘各做深1.5m浆砌石齿墙。上、下游侧浆砌石防冲保护带外宽20m范围做1m厚干砌石护砌，设计方案形式见图3。

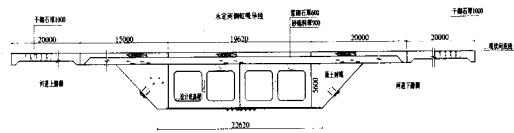


图3 设计方案3的形式图 (单位: mm)

## 3 结论

永定河倒虹吸工程除上述的主河槽段护砌工程外，对沿途经过的大宁水库库底及永定河右堤和左堤滩地的斜坡段分别采用不同的护砌方式。这些防护工程的实施，将在南水北调通水后，使长江水从永定河河底安全通过，直奔团城湖。

(责任编辑：梁延丽)

