

渠首水力特性分析及设计优化

马小明

新疆兵团勘测设计院集团股份有限公司

DOI:10.12238/hwr.v8i4.5314

[摘要] 渠首乃引水渠之首,是现有灌区的引水起点,渠首又称低水头引水工程,主要用于灌溉。对于全靠引水灌溉的干旱地区,引水渠首是十分重要的建筑物。渠首一般由引水闸、泄洪闸、冲沙闸、底栏栅、溢流堰、挡沙坎、导水墙及上下游导流堤组成。设计合理的渠首,不仅可以保障灌区所需的水量,而且还可以减少泥沙进入渠道,以降低灌区主干渠系的损坏及淤积。

[关键词] 渠首; 水力计算; 设计优化; 工程设计

中图分类号: TB21 **文献标识码:** A

Analysis of hydraulic characteristics and design optimization of the head of the canal

Xiaoming Ma

Xinjiang Corps Survey and Design Institute Group Co., Ltd

[Abstract] The head of the canal is the head of the diversion canal, which is the starting point of the water diversion of the existing irrigation area, and the head of the canal is also known as the low head diversion project, which is mainly used for irrigation. For arid areas that rely entirely on diversion for irrigation, the aqueduct is a very important structure. The head of the canal is generally composed of a diversion gate, a flood gate, a sand flushing gate, a bottom fence, an overflow weir, a sand retaining slug, a diversion wall and an upstream and downstream diversion embankment. A well-designed canal head can not only divert enough water required by the irrigation area, but also reduce the sediment entering the channel, so as to ensure its own long-term engineering benefits and reduce the damage and siltation of the main canal system in the irrigation area.

[Key words] canal head; hydraulic calculations; design optimization; Design

引言

为满足农田灌溉、水力发电、工业及生活用水等方面的需求,而在渠道首部修建的建筑物联合体称为渠首。渠首设计中最重要基础工作即为水力计算,本文以新疆头屯河第二引水枢纽为例,进行水力计算分析。

1 渠首工程设计应满足以下要求

(1) 应保证按灌溉用水要求,不间断地向灌区正常供水。(2) 在多泥沙河流上,应采取有效的防沙措施,防止有害泥沙进入渠道,以免引起渠道淤积。(3) 在有漂浮物的河流上,应采取防漂措施,防止漂浮物及冰凌等进入渠道。(4) 对于少沙河流上的综合利用渠首工程,应保证各个建筑物的正常运行,互不干扰,使渠首工程发挥最大的经济效益。但也不能忽视泥沙对建筑物运用的影响。(5) 对渠首工程附近的上下游河道,应因地制宜地进行整治,使河床维持稳定,保证取水口引水顺畅。(6) 造价低,便于运用管理,并尽可能采用现代化的管理设施。

2 渠首水力计算基本原则

水力计算的主要任务是确定渠首的闸孔总净宽及特征水位,

其基本原则如下:

(1) 冲沙闸在常遇洪水工况下,即可冲沙宣泄常遇洪水,又可使引水闸引设计流量。该种工况下,泄洪冲沙闸与引水闸前需保持同等高的水位;(2) 泄洪时,闸前雍水不宜过高,尽量使天然河道水面线与建闸后水面平顺衔接,保证河道天然状态的冲淤平衡;(3) 在常遇洪水工况下,冲沙闸处的冲沙槽槽内流速需大于淤沙的启动流速,冲沙闸泄洪时能够及时冲走引水闸前的淤沙;同时引水闸能够引设计流量;(4) 控制水闸下泄时的单宽流量,减少闸后冲刷,使消能防冲设施布置经济合理^[2];(5) 闸孔总净宽的选择以及导流堤的布置需避免束窄河道,同时需避免开挖高陡边坡。

3 渠首堰流分类

依据《水力计算手册》(第二版,武汉大学水利水电学院水力学流体学教研室)第73页堰流分类内容,根据底坎的形状和厚度,堰流可分为以下四类:

① $\frac{\delta}{H} < 0.67$, 为薄壁堰流; ② $0.67 < \frac{\delta}{H} < 2.5$, 为实用堰流, 又

可分为折线型和曲线型实用堰; ③ $2.5 < \frac{\delta}{H} < 10$, 为宽顶堰流; ④ $10 < \frac{\delta}{H}$, 为短渠水流。

(1) 引水闸堰流类别。依据渠首设计图, 引水闸上游连接段及其闸室长度合计值 $\delta = 23.07\text{m}$, 闸前水深 $H = 1.9\text{m}$, $\frac{\delta}{H} = \frac{23.07}{1.9} = 12.14 > 10$, 故属短渠水流, 因此引水闸闸孔宽度按无坎宽顶堰计算。(2) 泄洪冲沙闸和泄洪闸堰流类别。依据渠首设计图, 本次渠首闸轴线较原闸轴线下移 31m , 闸底板高程基本与原闸一致, 泄洪冲沙闸底板高程高于河床 1.29m , 泄洪闸底板高程高于河床 1.79m , 故泄洪冲沙闸和泄洪闸闸孔宽度按有坎宽顶堰计算。

4 引水闸闸底板高程、特征水位及水力计算

4.1 引水闸底板高程的确定

渠首引水闸闸后为红岩水库引水渠, 设计引水流量为 $7\text{m}^3/\text{s}$ 。由于该段已建渠道纵坡较缓, 起点高程已确定, 引水闸底板高程调整余地不大, 故本次引水闸底板高程与现状引水闸闸底板高程一致, 为 944.6m 。

4.2 引水闸设计流量的确定。

本次渠首引水闸设计引水流量为 $7\text{m}^3/\text{s}$ 。

4.3 引水闸闸前设计水位的确定

引水闸后已建渠道设计水深为 1.8m , 闸后正常引水位为 946.4m , 考虑过闸水头损失 0.1m , 即闸前正常引水位为 $946.4 + 0.1 = 946.5\text{m}$ 。

4.4 引水闸水力计算

依据《水闸设计规范》(SL265-2016), 对于平底闸, 当为堰流时, 水闸的闸孔净宽 B_0 可按附录A中公式(A.0.1-1)~(A.0.1-6)计算^[1]。

经计算, 在正常引水位工况下, 引水闸引设计流量时, 计算闸孔宽度为 3.18m , 考虑到头屯河水库泄洪隧洞泄水时, 闸前波浪起伏较大, 水力要素的边界条件复杂, 影响引水闸的过流能力, 本次对其进行加宽, 总净宽为 5m , 孔数为2孔, 单孔净宽为 2.5m 。

5 泄洪冲沙闸闸底板高程、特征水位及水力计算

5.1 泄洪冲沙闸底板高程的确定

冲沙闸底板高程根据渠首附近河道比降和冲淤变化来确定。若底板高程定高了, 运用初期会使闸下游发生冲刷下切现象; 定低了则易使闸下游发生淤积, 严重时、泥沙会回淤至冲沙闸底板以及闸室上游河床。为了不过多地改变河道自然状态, 闸底板高程一般采用多年平均枯水时期的河床平均高程为宜^[3]。

5.2 泄洪冲沙闸设计流量的确定

为保证渠首每年在洪水期间都具有泄洪冲沙的条件, 本次计算选择90%频率的常遇洪水作为泄洪冲沙闸的设计流量^[4], 依据洪水计算成果, 流量为 $57\text{m}^3/\text{s}$ 。

5.3 泄洪冲沙闸闸前设计水位的确定

泄洪冲沙闸在常遇洪水工况下, 即可冲沙, 宣泄 $50\text{m}^3/\text{s}$ 的常

遇洪水, 又可使引水闸能引取所需的 $7\text{m}^3/\text{s}$ 的水量。该种工况下, 泄洪冲沙闸与引水闸前需保持同等高的水位, 为 946.5m 。

5.4 泄洪冲沙闸冲沙流速及闸孔开度的复核

对闸孔宽度进行加宽后, 闸前水位会随之降低, 水位降低, 则会导致引水闸无法引设计流量, 故泄洪冲沙闸需调整闸孔开度以保证闸前水深达到正常引水位, 且过闸流速满足冲沙要求。

经计算, 引水闸引 $7\text{m}^3/\text{s}$ 的设计流量、泄洪冲沙闸下泄洪水 $50\text{m}^3/\text{s}$ 时, 闸前正常引水位为 946.5m , 泄洪冲沙闸孔口高度为 2.17m 。

经复核, 泄洪冲沙闸闸孔流速为 4.61m/s , 闸址区河床泥沙粒径中值 d_{50} 为 18mm , 推移质启动流速为 1.17m/s 。泄洪冲沙闸闸孔流速远大于推移质启动流速, 泄常遇洪水时具备冲沙条件。

6 渠首防渗排水设计

6.1 闸室地下轮廓

依据下闸轴线处地质剖面, 泄洪冲沙闸底板下方 $2.1-2.8\text{m}$ 处即为砂岩出露面, 泄洪闸底板下方 $2.8-5.1\text{m}$ 处为砂岩出露面, 引水闸底板下方 $1.8-2.9\text{m}$ 处为砂岩出露面。下闸轴线所处位置即为原闸的消力塘, 河床覆盖层主要由卵石混合土和下部的钢筋石笼构成, 结构较为松散, 不宜作为闸室基础。本次在处理闸室基础时, 将松散的覆盖层和强风化砂岩进行清除, 采用C20埋石混凝土进行闸基回填。

闸基经过处理后, 渠首泄洪闸与泄洪冲沙闸闸基与弱风化砂岩相接, 上游左右侧导流堤基础均坐落于弱风化砂岩之上, 导流堤与闸室衔接处垂直与水平向均采用止水带进行止水, 即闸室上游已形成封闭的挡水系统, 不再设置闸室上游铺盖。

6.2 上下游防冲墙埋置深度

经复核, 渠首上游河道冲刷深度为 1.50m , 本次闸室基础已采用C20埋石混凝土进行换填处理, 平均换填深度为 4.6m , 闸基坐落于弱风化砂岩之上, 满足冲刷深度要求。

7 工程布置及建筑物设计优化

闸址区的河床纵坡为 $1/51$, 闸轴线处河底平均高程为 940.84m , 泓泓线处高程为 940.67m , 轴线上游无淤积现象, 下游无冲刷现象。枢纽位于河流弯道处, 河势相对较为稳定。引水枢纽位于原闸轴线下游 31m 处, 采用拦河闸形式引水, 由引水闸、泄洪冲沙闸、泄洪闸及上下游导流堤组成。引水闸布置于河道右岸, 与河道水流方向呈 34° 布置, 泄洪冲沙闸和泄洪闸布置在同一条轴线上并与河道水流方向垂直, 泄洪闸布置于河道左岸, 泄洪冲沙闸布置于引水闸和泄洪之间, 以便于枢纽冲沙。上、下游导流堤沿河道两侧布置。

7.1 引水闸

引水闸位于河道右岸, 设计引水流量 $7.0\text{m}^3/\text{s}$, 由上游连接段、闸室段和引水渠连接段等组成。

(1) 引水闸上游连接段: 引水闸上游连接段长 11.64m , 采用 0.5m 厚C35钢筋混凝土浇筑, 底板高程为 944.6m ; 边墙高 4.6m , 采用C35混凝土重力式挡土墙结构。连接段前缘设悬臂式挡沙坎, 坎顶高出河床 2.6m , 基础埋深 3.8m 。(2) 闸室段: 闸室长 12m , 为

C35钢筋混凝土开敞式整体结构,共2孔,单孔净宽2.5m,底板厚0.8m,中墩厚1m,边墩厚0.8m,闸墩高3.4m,底板高程为944.6m,闸顶高程948.0m。闸墩上部设C30F200W6钢筋混凝土框架结构启闭闸房,启闭平台高程为952.3m。闸门槽上游人行桥宽2.35m,下游人行桥宽1.75m,下游设5m宽钢筋混凝土交通桥。(3)引水渠连接段:闸后接引水渠连接段,总长37.7m,纵坡为4.1‰;其中前29.4m采用C35现浇钢筋混凝土矩形断面,渠底宽6m,渠深3.4m,底板厚0.4m,边墩厚0.3-0.4m;下游8.3m采用扭面与现状红岩水库引水渠相接。

7.2泄洪冲沙闸

泄洪冲沙闸位于引水闸左侧,在30年一遇设计洪水工况下,过流能力为45.78m³/s,在100年一遇校核洪水工况下,过流能力为45.99m³/s。

泄洪冲沙闸由铺盖段、闸室段和下游消能防冲段等组成。

(1)铺盖段:水平铺盖段长5.0m,宽6.25-6m,采用0.6m厚C35钢筋混凝土浇筑。铺盖始端设防冲墙,斜墙段坡长8.25m,坡比为1:1.5,宽7.11-6.25m,基础埋深5.28m,采用0.6m厚C35混凝土浇筑。(2)闸室段:闸室长16m,为C35钢筋混凝土开敞式整体结构,共1孔,净宽5m,闸墩厚1-1.5m,底板厚1.5m(其中底板表层采用8cm厚球墨铸铁块护底,闸墩内侧下部设1.5m高钢板护面),闸墩高6m,底板高程为942.0m,闸顶高程948.0m。闸墩上部设C30F200W6钢筋混凝土框架结构启闭闸房,启闭平台高程为953m。检修门槽上游人行桥宽1.25m,下游人行桥宽1.20m,下游设5m宽钢筋混凝土交通桥。

7.3下游消能防冲段

下游消能防冲采用“护坦+消力塘”消能型式,护坦长10.0m,宽5.0m,坡比1:10,底板采用1.0m厚C35现浇钢筋混凝土,其中表层采用8cm厚球墨铸铁块护底。护坦右侧边墙采用C35混凝土重力式挡土墙结构,高10.3-8.5m。护坦左侧为导水墙,厚1m,高2m,采用C35钢筋混凝土悬臂式挡墙型式。

边墙内侧与导水墙右侧下部设1.5-1m高钢板护面。护坦末端设5m深C35混凝土重力式防冲墙。

防冲墙后为消力塘段,长度为21m,塘内底部设1.0m厚钢筋石笼,上部2.0m范围内抛填卵石,粒径为20-50cm。消力塘边墙采用C35混凝土重力式挡土墙结构,墙高8.5-6.4m。下游与导流堤衔接。

7.4泄洪闸

泄洪闸位于泄洪冲沙闸左侧,在30年一遇设计洪水工况下,过流能力为124.62m³/s,在100年一遇校核洪水工况下,过流能力为125.31m³/s。

泄洪闸由铺盖段、闸室段和下游消能防冲段等组成。

(1)铺盖段:水平铺盖段长5.0m,宽21.43-21.40m,采用0.6m厚C35钢筋混凝土浇筑。铺盖始端设防冲墙,斜墙段坡长9.12m,坡比为1:1.5,宽22.37-21.43m,基础埋深5.28m,采用0.6m厚C35混凝土浇筑。(2)闸室段:闸室长16.0m,为C35钢筋混凝土开敞式整体结构,共3孔,单孔净宽6.0m,中墩厚1.2m,边墩厚1m-1.5m,

底板厚1.5m(其中底板表层20cm采用C60F300W6硅粉混凝土,闸墩内侧下部设1m高钢板护面),闸墩高5.5m,底板高程为942.5m,闸顶高程948.0m。闸墩上部设C30F200W6钢筋混凝土框架结构启闭闸房,启闭平台高程为953m。检修门槽上游人行桥宽1.25m,下游人行桥宽1.20m,下游设5m宽钢筋混凝土交通桥。(3)下游消能防冲段。下游消能防冲采用“护坦+消力塘”消能型式,护坦长10.0m,宽21.4m,坡比1:6.67,采用1.0m厚现浇钢筋混凝土,其中底板表层20cm采用C60F300W6硅粉钢筋混凝土,下部80cm采用C35钢筋混凝土浇筑,护坦左侧边墙采用C35混凝土重力式挡土墙结构,高10.3-9.5m,护坦右侧与泄洪冲沙闸导水墙相接,边墙内侧与导水墙左侧下部设1.0m高钢板护面。护坦末端设5m深C35混凝土重力式防冲墙。防冲墙后为消力塘段,设计型式与泄洪冲沙闸后消力塘段一致。(4)上下游导流堤。枢纽上下游导流堤总长163.23m。

上游导流堤采用重力式挡土墙。左岸长47.15m,墙高4.5-8.2m;右岸长28.87m,墙高8.2m。墙顶高程为948.3-948.0m,顶宽0.5m,墙背坡为1:0.5。

下游导流堤采用衡重式挡土墙。左岸长32.52m,墙高8.1-6.4m,墙顶高程为948-943m;右岸长54.69m,墙高6.4-5.6m,墙顶高程为948-942.37m。墙顶宽均为0.5m,墙背坡1:0.5。

8 结束语

通过对头屯河第二引水枢纽进行水力分析计算后,有以下几方面的经验收获及思考:

(1)设计人员应全面了解水闸的现状,准确诊断问题,通过优化水力计算成果,对关键问题提出针对性的除险加固措施,以消除原设计存在的问题。(2)在进行冲沙闸水力计算时,应增加常遇洪水工况,即引水闸引水流量和冲沙闸冲沙流量之和即为常遇洪水流量,在该种工况下,冲沙闸可开敞冲砂,引水闸可以引够设计引水流量,及达到常引敞泄的理想状态。(3)山区引水枢纽由于收到推移质的影响,闸后护坦易受冲蚀,且后期维修养护较为困难,除险加固阶段应注意消能防冲型式。本枢纽处于山区峡谷地带,河床卵砾石粒径较大,泥沙含量相对较大,依据山区渠首建设经验,结合《水闸设计规范》(SL265-2016)要求,枢纽消能防冲可采用短护坦+深隔墙型式。(4)山区引水枢纽底板及闸墩过水处易受推移质撞击,除险加固阶段应考虑建筑物的抗磨抗冲措施^[5]。由于本枢纽位于头屯河水库坝后150m处,水库具有泄洪排沙功能,推移质粒径相对较大,且在常遇洪水工况下,冲沙流速为4.61m/s,为避免闸底板磨蚀,本次泄洪冲沙闸底板采用铸铁块抗磨,泄洪闸底板采用C60硅粉混凝土进行抗磨抗冲。

参考文献

- [1]水闸设计规范:SL265-2001[S],2001.
- [2]宋祖诏.取水工程[M].中国水利水电出版社,2002.
- [3]李锡龄.新疆引水渠首[M].新疆人民出版社,1994.
- [4]沈长松.水工建筑物[M].中国水利水电出版社,2008.
- [5]河海大学.水工钢筋混凝土结构学[M].中国水利水电出版社,2009.