

# 永定河滞洪水库退水闸边荷载 引发的问题及处理措施

刘振林

**摘要** 通过对永定河滞洪水库退水闸边墩外倾和铺盖、消力池、护坦裂缝的分析，指出产生的原因是边荷载引起。进而对边荷载对工程的影响及对应防治措施进行了论述，指出在软土地基和松散的砂土地基上，设计水工建筑物时，应特别要注意边荷引起的沉降和不均匀沉降问题。

**关键词** 退水闸 不均匀沉降 边荷载 减载措施 滞洪水库 永定河

中图分类号 TV66 文献标识码 A 文章编号 1007-6980(2004)01-0004-05

## 1 工程概况

永定河滞洪水库退水闸位于北京市房山区黄良铁路上游 500 m 处的马厂水库尾堤上，是滞洪水库的尾部退水控制工程，控制最大泄量为  $400 \text{ m}^3/\text{s}$ 。退水闸为开敞式，浮筏式基础，共 8 孔，每孔净宽 7 m，两孔一联，闸室总宽度 72.2 m。闸底板高程 45.8 m，为折线型，厚 1.2 m，长 18 m，末端以 1:4 的斜坡段与下游消力池相接。闸门为弧形门，尺寸为  $7.0 \text{ m} \times 5.2 \text{ m}$ (宽×高)，采用双吊点固定卷扬启闭机，启闭容量为  $2 \times 100 \text{ kN}$ 。在闸室的上游侧设检修桥，下游侧布置有交通桥，交通桥桥面净宽 7 m，由 5 根空心板梁拼装而成，荷载标准为汽 20 挂-100。在检修门槽和弧门的上部布设启闭机房，在闸室右岸布置控制楼，左岸布置楼梯间。闸室上游为钢筋混凝土铺盖，长 15 m，厚 0.5 m，上接长 15 m 的浆砌石和长 10 m 的干砌石护底，两侧为上游翼墙。闸室下游消力池长 15 m，厚 0.8 m，池后为长 15 m，厚 0.7 m 的钢筋混凝土护坦，其下分别接长 40 m、厚 0.5 m，长 20 m、厚 2 m 的浆砌石海漫和抛石防冲槽，退水闸顺水流方向总长为 168 m。为保库水顺畅退出，在防冲槽后布置退水渠，渠底宽度 150 m，底坡 1/1 000，与永定河主槽相衔接。

## 2 工程地质

退水闸闸址位于永定河右侧的河漫滩上，为第四系全新统冲积层，根据退水闸初设地质勘察报告，闸下地基地层自上而下分别为细砂层、中砂层、壤土层和砾石层。<sup>无岩数据</sup>

技施阶段为进一步查明退水闸闸址的工程地质条件，北京市水利规划设计研究院又做了补充地质勘察工作，根据地质报告，其地层岩性为：

(1) ①<sub>1</sub> 细砂：呈黄褐色，稍湿—湿，松散—稍密，层底高程为 42.9~45.08 m，层厚 1.8~4.0 m，含水量 6.28%~16.2%，天然重度 15.3~16.2 kN/m<sup>3</sup>，孔隙比为 0.75~0.85，内摩擦角地层建议值为 25°，承载力标准值为 120 kPa。

(2) ①<sub>2</sub> 细砂：褐黄色，稍湿—湿，稍密—中密，层底高程为 38.61~39.44 m，厚度为 3.9~6.2 m，内摩擦角建议值为 27°，承载力标准值为 160 kPa。

(3) ② 壤土：褐黄色，湿—饱和，勘探钻孔揭露的最大厚度为 2.6 m，含水量为 14.83%~31.92%，天然重度为 18.8~21.8 kN/m<sup>3</sup>，孔隙比为 0.41~0.89，凝聚力为 0.012~0.021 MPa，内摩擦角为 18.7°~24.8°，属于中—低压缩性，建议承载力标准值为 180 kPa。

由技施阶段地质勘察和初设阶段地质勘察相比可知，技施阶段的勘察成果，不论在地层划分、地层分布高程、厚度和承载力方面，均有较大变化，尤其在承载力上，各土层均有明显的降低。为此，在退水闸技施阶段地质报告场地工程地质评价中特提出：细砂层上部较松散，承载力标准值  $f$  为 120 kPa，承载力较低，不能满足设计要求，建议进行地基处理，处理高程为 43 m。

由上述地质资料可知，作为退水闸持力层的细砂层，为松散状态，对水闸沉降不利。为此，设计对闸室和翼墙土基采取了用 2 m 的砂砾料换基的处理措施。

### 3 退水闸地基不均匀沉降及原因分析

#### 3.1 不均匀沉降发生过程

退水闸防渗墙于2001年10月21日开工，2001年11月9日完成了上、下游翼墙及闸室下的防渗墙工程。

闸室底板基础换填砂砾料施工，闸室于2001年11月7日开始，于2001年11月20日完工；翼墙基础换填砂砾料于2001年11月9日开始，于2002年2月22日完成。

闸底板于2002年3月20日完成混凝土浇注，一个半月后，平均沉降约2cm。2002年7月7日闸墩、翼墙混凝土施工完成，2002年8月4日边墩和翼墙后土方开始回填，2002年9月2日回填土方全部完成。自2002年8月4日回填土方全面开始回填后，2002年8月16日发现下游消力池底板、护坦产生小裂缝，2002年8月24日土方回填接近完成时，裂缝发展严重。上游铺盖、下游消力池、护坦裂缝贯穿。裂缝形态：大体与翼墙相距6m，1条主缝，1~2条副缝，最大缝宽2~3mm，

右侧消力池底坎有2条断开裂缝。

左、右边墩的2个缝墩在墩顶结构缝处张开达2~3cm。察看闸门，未见异常变形，闸门侧轮与边墙间隙无大变化。

自2002年9月5日开始，在滞洪水库建管处和监理的安排下，施工单位对裂缝和变形开始进行系统观测，至今观测仍在进行中，至2002年12月13日变形与沉降已基本趋于稳定。

根据2002年9月5日~2002年12月13日观测资料分析：闸室上游防渗板最大沉降量为9.9cm，边块最大沉降差5.9cm，中间部分平均沉降值为2.5cm；闸室最大沉降值为12.6cm，边孔最大沉降差11.3cm，中间孔平均沉降值为1.5cm；下游消力池最大沉降值9.4cm，边块最大沉降差4.9cm，中块平均沉降值为2.7cm；混凝土护坦最大沉降值为10.3cm，边块最大沉降差9.1cm，中块平均沉降值为2.1cm。相邻板块最大的沉降差防渗板、闸室、消力池和护坦分别为1.9, 1.5, 2.2, 2.1cm。根据检修门槽测量结果，左边墩倾斜2.5cm，右边墩倾斜2.1cm。退水闸裂缝分布及各点沉降值见图1。

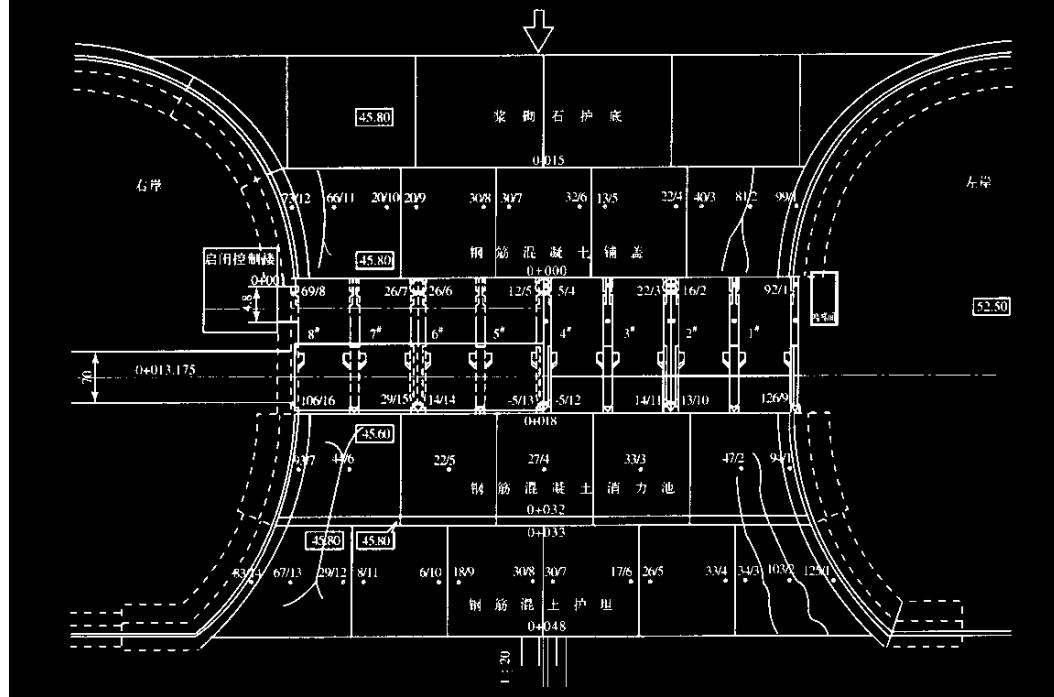


图1 退水闸裂缝分布及各观测点沉降值

图中 \* / \* 表示沉降值 mm / 测点编号

#### 3.2 不均匀沉降产生的原因

在退水闸翼墙和边墩的外侧为马厂水库尾堤，两侧原地面高程在47.0m左右，而尾堤堤顶高程为52.5m，在原地面以上的填土高度为5.5m，也

就是在原松散的细砂基础上附加88kPa的荷载。退水闸边孔底板传给基土的荷载为77.9kPa，而闸室处原地面高程为47m左右，闸底板底高程为44.5m，基础埋深2.5m，因开挖引起的地基反弹

及再压缩原因，边孔闸室对地基起压缩作用的力并不是全部基底压力，而是基底压力的一部分，这是考虑到在开挖之前，地基已受过砌置深度内的土的自重压力作用，压缩已稳定，基坑开挖后，就沉降而言，相当于把基底压力减少，对砂土来说，相应的荷载为 39.4 kPa，自重荷载减去反弹荷载即为引起边孔沉降的实际荷载，其值为 38.5 kPa，边荷载和边墩荷载相差 49.5 kPa。荷载不同产生的沉降也不同，底板产生的沉降小，闸室边墙外地面产生的沉降大，因而产生了沉降差和沉降差过渡段，这就是退水闸发生不均沉降，使边墩外倾的原因。

退水闸不均匀沉降产生的主观原因，首先是设计对细砂地层产生较大沉降认识不足，未能事先采取必要的防止不均匀沉降的工程措施。如果根据地质条件和现场情况，预先对退水闸各部位进行沉降分析，就不难发现在边联孔和边墙、翼墙外会发生大的不均匀沉降，设计可用振冲法对墙外基础进行加固，就可避免大的不均匀沉降的发生；原在闸室外控制楼下设计拟采取灰土回填夯实，后因土料缺乏，经协商确定换填砂砾石，砂砾石容重大，无疑加大了墙外的沉降量；另外，不均匀沉降与施工顺序有关，现施工顺序是先做闸室而后进行闸室外的尾堤回填，若尾堤先做，使地面先行压实下沉，后再做退水闸，则较大的不均匀沉降也可避免。

### 3.3 不均沉降对工程影响

根据沉降观测资料可知，退水闸最大的沉降值为 12.6 cm，发生在左边墩的下游部位；相邻板块最大的沉降差：铺盖为 1.9 cm，闸室为 1.5 cm，消力池为 2.2 cm，护坦为 2.1 cm，最大沉降差发生在消力池的右侧相邻板块之间。水闸设计规范规定：“土质地基允许最大沉降量和最大沉降差，应以保证水闸安全和正常使用为原则，根据具体情况研究确定。天然土质地基上的水闸地基最大沉降量不宜超过 15 cm，相邻部位的最大沉降差不宜超过 5 cm”，根据沉降观测资料分析可知地基沉降现已基本趋于稳定，由此可见，退水闸产生的沉降和沉降差尚在规范允许的范围之内。铺盖产生裂缝将会缩短渗径，对闸基渗透稳定产生不利影响；消力池、护坦裂缝也将对其混凝土质量产生影响；退水闸产生的不均沉降，主要是左、右边墩斜倾可能对闸门启闭、启闭机房和控制楼产生影响。边墩外倾量在 2~3 cm 范围，只要设计对控制楼和启闭机房加以调整，在控制楼和启闭机房、启闭机房各段之间采用可伸缩的柔性连接措施，就不会有什么问

题。由于启闭机卷筒、弧门门叶下的吊环，都对启闭有调整作用，2~3 cm 的误差也不会影响到闸门的正常运用。左右边联孔沉降缝开张并未破坏止水带，对运用不会产生不良影响，但却会影响到闸墩的美观，应进行处理。值得注意的是控制楼尚未施工，控制楼自重及其上的设备还会产生附加压力，因此，还会导致边墩外的地基下沉，如沉降过多，势必加大边墩外倾，有可能造成不良的后果，应予研究处理。

## 4 处理方案

根据退水闸的具体条件，对退水闸不均匀沉降的处理，设计提出如下几个方案进行比较。

### 4.1 边墙后减载方案

如上所述，在退水闸边墩外未加控制楼的条件下，现在产生的不均匀沉降值和因而导致的边墩外倾值，还不至影响闸门的正常运用，但控制楼还会产生较大的垂直荷载，初估为 75.5 kPa，为消除此附加力的影响，应采取减载措施。减载方案就是将控制楼下回填的砂砾料挖空，做钢筋混凝土空箱，其平面为尺寸为 9.8 m × 11.35 m，拟箱底板底高程 45.0 m，可减载 157.5 kPa；而控制楼重增荷为 75.5 kPa，再加空箱本身的重量增荷为 82.1 kPa，两者合计为 157.6 kPa，荷载增减相抵基本平衡。做好箱体后，以此为基础，再做上部的控制楼。

### 4.2 变更控制楼方案

该方案是取消控制楼，为使闸室两侧的建筑对称，在闸室右侧做一个与左侧相同的楼梯间，因其重量较轻，产生的附加压力也较小，不会对地基沉降产生较大影响。为了解决闸门控制室问题，在闸室右侧边联两孔的启闭机房顶上再盖一层楼，以作控制室之用。在控制室内将电器的主要设备布置在靠内孔部位，用以进行反压纠偏，纠偏荷载启闭机房和启闭设备为 6.3 kPa，第 3 层控制楼及电器设备为 6.9 kPa，两者合计纠偏荷载为 13.2 kPa。

为减轻右边孔上方第 3 层楼的重量，可将靠边孔的第 3 层楼设计成透明的简易走廊，通往第 2 孔上方的控制室。

### 4.3 反压纠偏方案

退水闸由于在边墙外筑堤堆土使边墙和翼墙产生向外倾斜，现在采用在闸室内堆土使其内倾，达到纠偏扶正的目的，这就是反压纠偏方案的原理。具体实施办法是在中间 4 孔内堆土满压，在 2# 和 7# 孔压 1/2 土，1# 和 8# 孔少压或不压土，以减少

边墩、翼墙的沉降差值。压土上、下游边界基本与边墙外的填土区域相应。经初步估算边墙外原地上的填土压力，在控制楼下因是砂砾料，其值为 116 kPa，其他部位是细砂土回填，其压力为 88 kPa。考虑到闸室建成后，启闭机房及设备产生反压荷载平均为 6.3 kPa，闸室自产生的荷载为 77.9 kPa，由于地基反弹产生的负荷载为 39.4 kPa，相减之后按反压细砂的容重为 15 kN/m<sup>3</sup> 计，则相应控制楼位置的墙内反压填细砂土高度为 4.5~5.0 m，而其他部位填细砂高度较小，为 2.5~3.0 m。

在反压填砂的施工过程中，应注意采用逐层缓慢施压，要时刻注意观察闸基和边墙的沉降变化，发现异常应立刻停止施工，待查清原因后，经允许方可继续施工。施压完后，要求进行较长时间的沉降观测。若反压达到了预期效果，则可维持原设计方案不变。

#### 4.4 控制楼外移方案

结合 440 m<sup>2</sup> 退水闸小院报批，遇到的设计在京注册难题，拟取消管理小院而采用控制楼外移方案。将原来两控制楼和小院共 1 000 余 m<sup>2</sup> 的面积，设计成 2 层小楼，布置在闸室右侧距边墩 15 m 之外，以作为控制室和管理房之用；维持闸室左侧楼梯间不变。在 2 层管理小楼和启闭机房之间，设计为透明的封闭走廊，走廊立面做好装饰设计，以达到美观和把管理房与启闭机房连为一体的效果。此方案有两大好处：其一是避免了退水闸小院规划报批的难题，其二避免了在边墩和翼墙外近距离再增加荷载，导致地基加剧沉降的问题。采用了控制楼外移方案后，由于控制楼距边、翼墙距离较远，且边、翼外增加荷载不多，加剧沉降量不大，再考虑启闭机房建成后，还会产生 6.9 kPa 的反压荷载，仍产生一定的纠偏作用，故此方案可行。

对退水闸不均匀沉降引发的裂缝和张开的缝墩结构缝具体处理方案如下：

(1) 对上游铺盖、下游消力池和护坦的裂缝，拟进行化学灌浆，材料为改性环氧树脂，裂缝表面用 TK 砂浆封堵抹平。

(2) 对边联缝墩上下游立面的张开缝，在其表面封填土工织物或木条 100 mm，在距墩圆头表面留 10 mm 缺口，用 TK 砂浆封堵抹平。

对边联缝墩墩顶的张开缝，在其顶部用 300 mm 高油毛毡充填，在距墩顶表面留空缺 80 mm，用沥青封顶。  
下方数据

## 5 方案比选

裂缝处理采用化学灌浆、缝表面凿槽回填 TK 砂浆的方法。对边联缝墩上下游立面的张开缝，采用 TK 砂浆封闭方法，对边联缝墩墩顶的张开缝，则采用沥青封顶的方法。

对于不均匀沉降的 4 个处理方案：边墙外减载方案需要重新开挖土方，做地下空箱，其上再作控制楼，施工程序多，处理时间长，费用大；变更控制楼方案是在启闭房顶上造控制室，结构比较复杂，且以后闸室沉降变化还会对结构应力产生影响；反压纠偏方案虽然简单，但沉降需有一个过程，尚需较长时间观测沉降和分析其反压效果，耗时费力；控制楼外移方案既避免了退水闸小院的审批难题，又避免了在边墙外近距离加荷问题，而且施工方便，随时可以进行启闭机房和控制楼施工。

经研究，设计推荐控制楼外移方案和上述的裂缝、沉降缝处理方案。

2003 年 6 月 24 日，北京市永定河滞洪水库建设管理处组织召开了退水闸不均匀沉降处理方案审查会，与会专家经认真地研究和讨论，通过了水利部天津水利水电勘测设计研究院提出的控制楼外移减载方案。

经处理后，上游防渗板将恢复其原防渗功能，消力池和护坦裂缝也得到完善的灌浆修补，沉陷缝也得到修复而不影响美观和正常运用。控制楼外移方案实施后，经计算可使边墩和翼墙外减少荷载 75.5 kPa，且由于现在沉陷已基本趋于稳定，因此，边联孔外张不会影响工程的正常运用。将来蓄水之后，由稳定计算结果可知蓄水实际上是增加闸室垂直向下的荷载，相当于在闸室增加反压纠偏荷载，故会使退水闸不均沉陷减少，对工程的安全运用有利。

现在退水闸控制楼和启闭机房已按确定的方案施工，且业已接近完成，闸门和启闭机已经过了调试，闸门启闭也经过了试运行，事实表明不均匀沉降对工程的安全运行并未产生影响。

## 6 结 论

综上所述，退水闸的不均匀沉降是由于边荷载引起。所谓边荷是指计算闸底板两侧作用于地基上的荷载，对于边孔而言，它的边荷载其内侧是闸室作用在地基上的荷载，其外侧则是墙外上部建筑物荷重和回填土重两者之和。边荷载（下转第 18 页）

混凝土。

### 3.3 涵洞洞身增加截渗环

为延长渗径，减小沿涵洞外壁产生集中渗漏，在水库和临岔河两侧沿涵洞洞身各增加一道钢筋混凝土截渗环，其位于水库一侧距进口 12 m，临岔河一侧距出口 7 m。截渗环底部至涵洞两侧底板高程底，侧向及顶部满足在涵洞外壁有 1.2 m 的径向长度，截渗环厚 0.5 m。

### 3.4 闸室两侧浆砌石挡墙拆除重建

水库一侧闸室两边原浆砌石挡墙砌筑质量较差，将其拆除重建。砌筑砂浆强度等级为 M7.5，并用 M10 水泥砂浆勾缝。

### 3.5 洞身接触灌浆

在未进行堤身开挖和重新填筑的中段涵洞长 45 m 的范围内，为填充涵洞外壁附近的土体，减少沿涵洞外壁的接触渗流，在涵洞内钻孔对洞壁与堤身土体之间进行接触灌浆（水泥粘土浆），同时对浆砌石洞壁进行充填灌浆（水泥浆）。灌浆范围为顶拱及两侧洞壁，灌浆孔间排距为 2 m × 2 m，分两序孔进行，灌浆后对灌浆孔进行封堵。

### 3.6 更换闸门和启闭机

临岔河一侧的闸门锈蚀、漏水严重，启闭机锈蚀损坏，将原闸门和启闭机拆除，更换 2.5 m × 3 m 铸铁闸门 2 套、LQ-8 型螺杆启闭机（手电两用）2 台；同时将机架桥拆除重建。

## 4 结语

三水厂退水闸加固设计是在地质勘察及对渗漏原因进行深入分析等工作的基础上进行的，针对涵闸存在的问题采用了不同的加固处理措施，使涵闸加固设计既经济合理，又安全可靠。加固方案实施后，不仅满足了涵闸正常运用的要求，同时也满足了漳卫新河防洪安全的要求。

#### 作者简介

许煜忠 男 高工 中水北方勘测设计研究有限责任公司 天津 300222  
王炳和 男 工程师 水利部海河水利委员会漳卫南运河管理局 德州 253000

（收稿日期 2003-12-12）

（上接第 7 页）对边孔底板的影响与地基土质、边荷载的大小和边荷载的施加顺序等因素有关，是一个十分复杂的问题。概言之，边荷载对底板的影响主要表现在两个方面，其一是对其应力的影响；其二是对沉降的影响，对应力的影响水闸设计规范已对它的计算方法和取值作了明确的规定，对沉降的影响在规范里则谈及甚少。工程实践表明边荷载对沉降的影响，尤其是对闸室边孔沉降的影响是不可忽视的，不少工程由此产生了问题。天津市海河防潮闸由于边荷载的影响，边墩外地面沉降过大，而使控制楼外倾，导致控制楼与启闭机桥面高程接触处外张 22 cm，而该闸的上下游翼墙为防外倾则采用了墙身布孔的透水结构，结果安全无事。子牙河穿运枢纽南运河节制闸，刚建成后由于边墩外土压力的原因，使边墩交通桥支座处外倾 8~10 cm，引起设计的密切关注；滞洪水库退水闸边孔不均匀沉降，也是边荷载影响其中的一例。对边荷载引起的不均匀沉降，工程上采取的防治办法主要是基础加固、空箱过渡和墙外减载等工程措施。天津市蓟万方数据

运河防潮闸为分离式闸底板，为防止边墩的不均匀沉降，在中、边墩下采取了灌注桩基础；天津市西河闸边墩外为空箱，进行了减荷后，在空箱外面再布置了控制楼，且在翼墙外采取了降低填土高度的减载措施，工程未发生问题；滞洪水库退水闸若在边墩和翼墙外 1.2 倍边孔底板垂直水流向长度范围内，采取地基加固措施，也可避免大的不均匀沉降的发生。

工程经验告诉我们，在软土地基和松散砂基上修建水工建筑物，应特别要重视地基的沉降和不均匀沉降问题。为防止不均匀沉降对工程的危害，设计应根据地质条件和建筑物的布置特点，全面分析地基的沉降情况，尤其要注意边墩和边墩外的不均匀沉降问题，若发现有较大的沉陷或不均匀沉陷，应采取对应的工程措施以策安全。

#### 作者简介

刘振林 男 教授级高工 中水北方勘测设计研究有限责任公司 天津 300222

（收稿日期 2003-12-18）