

装配式止水闸门在地下空间结构中的应用

尚文涛, 卢屹东, 王淑敬, 马永杰, 袁代光

(中国建筑标准设计研究院有限公司, 北京 100082)

摘要:在地下空间开发领域,出入口部防汛设施的作用尤为重要。作为防洪屏障的止水闸门,能有效提高地下工程对城市水患的抵御能力。介绍了一种可应用于地下车库、地铁车站等地下空间出入口部的装配式止水闸门,从防水密封性、抗水压强度性能、装配操作性等方面验证了该方案的可行性。

关键词:地下工程;防汛设施;出入口;装配式止水闸门;有限元分析

中图分类号: TU 965

文献标志码: B

文章编号: 1009-7767(2016)04-0097-04

Application of Prefabricated Sluice Gate in Underground Space Structures

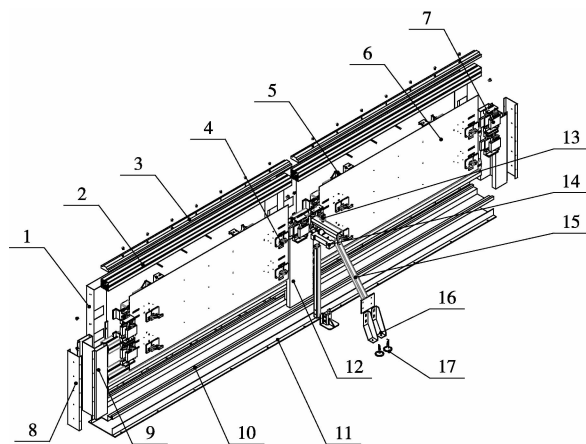
Shang Wentao, Lu Yidong, Wang Shujing, Ma Yongjie, Yuan Daiguang

随着城市规模的不断扩大,地下空间的开发利用已经逐渐发展为城市地下综合体工程的建设,如轨道交通工程、地下车库等。近年来,为了避免严重的社会和经济损失^[1],城市防洪问题已被逐步重视,地下空间的出入口部成为了规划的重点防护区^[2]。GB 50157—2003《地铁设计规范》规定,地铁的出入口要满足当地的防淹要求,必要时配备防汛装置。但目前在地铁车站出入口处主要采用砂袋堆堵,少数车站配备简单的防汛板。砂袋堆砌耗时费力,重复投资且污染环境。为了科学地规避地下空间出入口部各类水害问题的不良影响,结合地下工程出入口的建筑构造,研发出一种止水密封性好、抗水压强度高、结构性能可靠、易操作转换的装配式止水闸门,有效提高城市地下工程对水患的抵御能力。

1 闸板装配式止水闸门技术方案

1.1 总体方案介绍

闸板装配式止水闸门在闸板上设有内置的伸缩挤压机构,每块闸板可独立地施加反向作用荷载,在正向挤压力和切向摩擦力的共同作用下,门框及防水密封胶条紧密结合,实现防汛功能。如图1所示,整体矩阵式排布的闸板,增大了防汛面积;左右侧门框借助桩基混凝土侧墙实现固定支撑,中间框的固定采用三角斜支撑设计,通过调节支撑件的蹄脚来找平调正,确保中间框的垂直度。此外,整个设计的浸水一侧无生锈腐蚀件及其连接,提高了产品的防腐性。

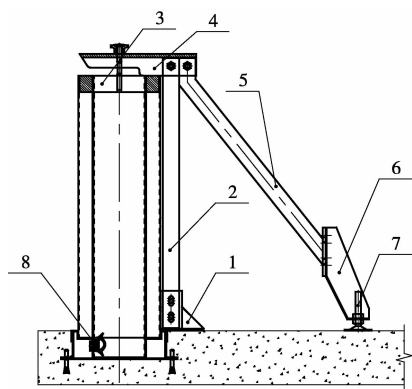


注:1. 外面板(止水侧);2. 骨架型材;3. 上接合部;4. 操作扳手;5. 直角连接件;6. 内面板;7. 剪叉式挤压机构;8. 侧框支撑件;9. 左(右)框;10. 底槽;11. 底槽支撑件;12. 中间框;13. B型压花把手;14. 挤压固定块;15. 中间框三角支撑件;16. 地脚连接件;17. 蹄脚。

图1 闸板装配式止水闸门总装图

1.2 门框结构

门框结构由左侧框、中间框、右侧框及底槽构成(其中左、右侧框结构对称加工),4部分构成了止水闸板的装配支撑件及防水密封系统的基础件。左、右侧框与出入口部的立墙通过膨胀螺栓连接,高度方向垂直于水平面。中间框底部设有穿孔连接板,与地面预埋的膨胀螺栓连接,在来水方向的对侧安装三角斜支撑,如图2所示。地槽与地基(开槽)通过膨胀螺栓固定,非工作状态上部放置盖板掩藏,方便通行。



注:1.地脚连接件1;2.垂直支撑梁;3.固定块;4.连接头;5.斜支撑梁;6.地脚连接件2;7.蹄脚;8.e形防水胶条。

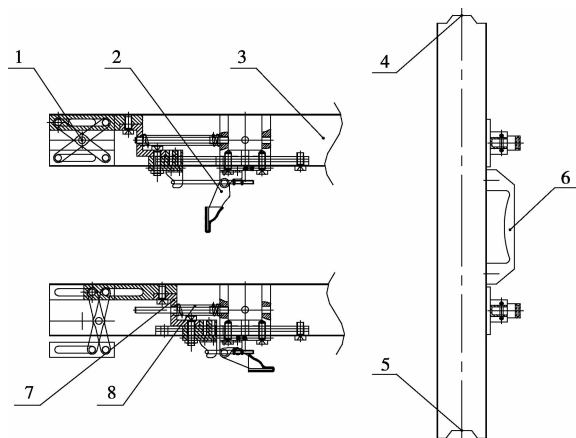
图2 门框侧视图(三角斜支撑)

1.3 闸板结构

止水闸板的结构如图3所示。操作件为拉栓式扳手,通过Z形件与挤压装置连接。扳手由张开至闭合过程中,挤压装置的剪叉角度由大变小,其工作面由内部伸出,设计行程约25 mm,伸出端粘贴橡胶垫,一方面在与门框挤压时可以缓解负载破坏,另一方面可以增加接触摩擦力。止水闸板的上下端通过榫卯结构配合,每块闸板均独立反向受压,与门框在摩擦力和挤压力的双重载荷下固定装配。当不需要防水时,中间框及其支撑、止水闸板可拆卸并妥善安放在防汛箱内。止水闸板上设置把手,方便搬运。

1.4 密封设计

该装置采用接触式机械挤压密封设计^[3],整体门



注:1.剪叉式挤压机构;2.操作扳手;3.闸板内骨架;4.上接合部;5.下接合部;6.把手;7.Z形连接件;8.压缩弹簧。

图3 止水闸板结构图

框内侧围绕e形密封胶条,在闸板及门框的作用下,防水胶条受压变形,形成U形密封系统,满足防水要求。

2 闸板强度校核计算

根据SL74—2013《水利水电工程钢闸门设计规范》的要求,止水面板采用GB/T4237—2007《不锈钢热轧钢板和钢带》规定的不锈钢材料。为充分利用面板的强度,梁格布置时宜使面板的长短边比 $b/a > 1.5$,并将长边布置在沿主梁轴线方向。面板的局部弯曲应力根据支撑边界的情况,按四边固定的弹性薄板承受均布载荷计算。如图4所示,以该止水闸门的梁格布置结构,计算出面板的长短边比为 $b/a = 1.81 > 1.5$,面板的强度需要校核。

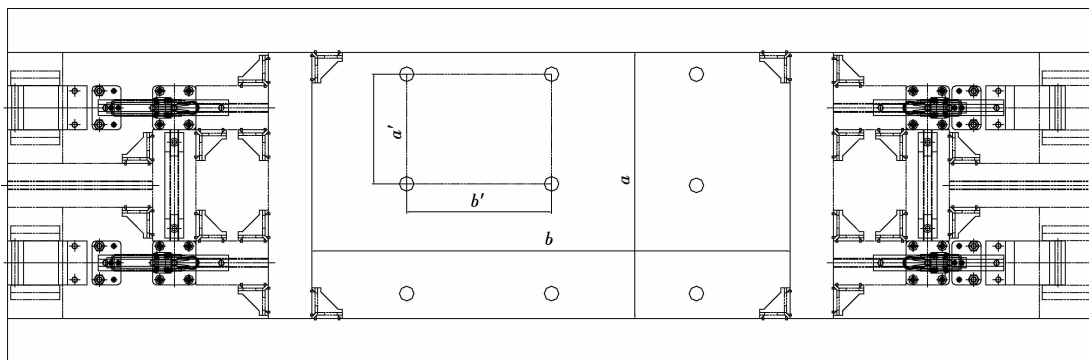


图4 止水闸板骨架梁格布置及面板图示

初选面板厚度 δ (mm)依据下式进行校核:

$$\delta = a \sqrt{K_y q / \alpha [\sigma]} \quad (1)$$

式中: K_y 为弹塑性薄板支承长边中点弯应力系数,按要求取0.487; q 为面板计算区格中心的水压力强度,取

0.002 MPa; a 为面板计算区格的短边长度,取364 mm; α 为弹塑性调整系数, $b/a \leq 3$ 时,取1.5; $[\sigma]$ 为不锈钢的抗弯容许应力,经查询取137 MPa。代入式(1)计算得, $\delta = 0.79$ mm。

据此,初选面板厚度为 0.8 mm 符合设计要求。此外考虑到薄壁面板的变形情况,对位于骨架大跨度长短边区域的面板,进行二次补偿设计,即在外面板(浸水侧)内侧焊接螺栓^[4],外套 $\varnothing 10$ mm 的钢管,内面板侧穿孔并通过螺母固定,缓解外面板承受水压时的变形程度。

3 门框荷载的有限元分析

3.1 模型简化

门框为不锈钢开口薄壁件,截面形状类似于空心槽钢和工字钢。左、右侧框结构对称,选取其一进行校核。如图 5 所示,A、B、C 3 面为墙体固定约束,在 D 面上施加载荷。根据实际装配情况及相似性原理,对数值计算的物理模型进行简化处理。建模后定义材料属性,其中不锈钢的杨氏模量 $E=193$ GPa,泊松比 $\mu=0.31$ 。

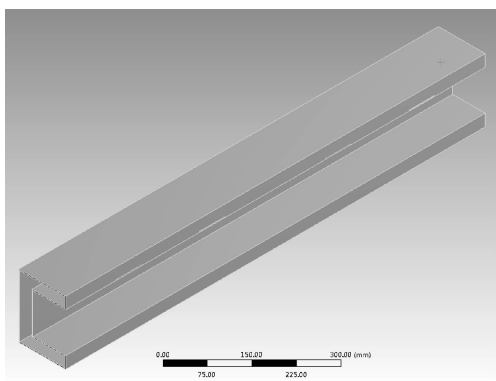


图 5 计算模型简化

3.2 施加外载荷计算

止水闸门承受静水压力,其强度大小可按照二重积分公式计算^[5]:

$$P = \rho g \iint_D (H-y) dA = \rho g \int_a^b dy \int_{g(y)}^{f(y)} (H-y) dx = \rho g \int_a^b (H-y) [f(y) - g(y)] dy \quad (2)$$

式中: ρ 为水的密度, kg/m^3 ; g 为重力加速度, N/kg ; H 为闸板总高度, m ; a 、 b 为垂直方向止水高度, m 。

由图 6 可知,水压沿深度方向呈线性梯度变化(比例系数 k),计算模型中的 4 个接触面受均布载荷,作用面为挤压伸出面区域,受力满足以下公式:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^4 F_i = \frac{P}{2} \\ \frac{F_j - F_{j-1}}{x_j - x_{j-1}} = K \end{cases} \quad (3)$$

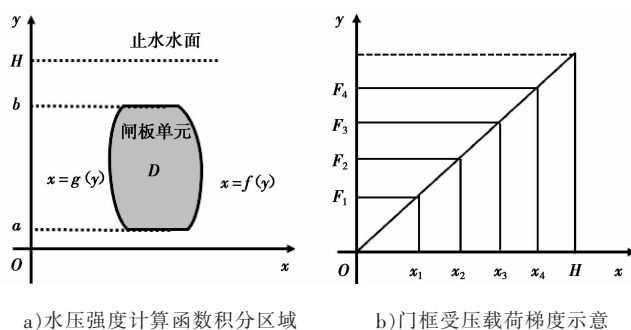
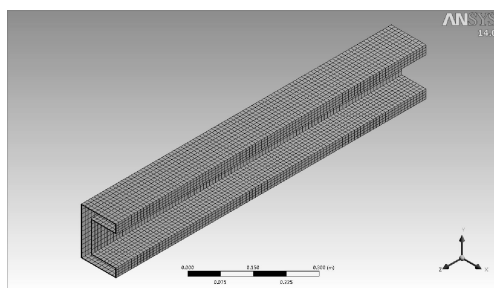


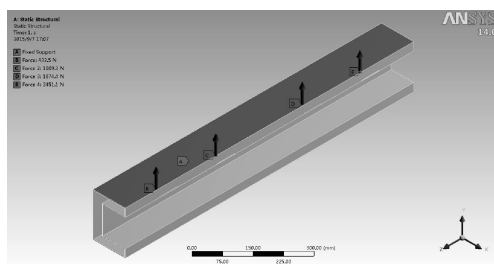
图 6 外部施加载荷的计算

3.3 网格划分及边界条件设定

在 ANSYS workbench 中添加有限元模型^[6],并应用 sweep 扫掠方法进行网格划分,控制网单元为结构性六面体网格,总节点数为 44 617,单元数为 6 500,如图 7 所示。经网格质量检查合格后,对有限元模型设定边界约束,其中包含门框的固定约束及侧边施加的载荷约束。



a) 整体网格三维视图



b) 施加载荷分布

图 7 网格单元及载荷分布

3.4 计算结果分析

计算结果如图 8、9 所示,最大变形量发生在门框底部,即在最大防水深度的闸板伸出端接触位置两侧对称分布,最大变形量为 0.07 mm。应力分布与门框受压载荷梯度在止水深度方向上一致,在门框底部呈现最大值,应力最大值为 $120 \text{ MPa} \leq [\sigma] = 137 \text{ MPa}$ 。因此,

门框的结构设计在高度方向满足 2 块闸板上下榫卯配合的抗水压强度要求。

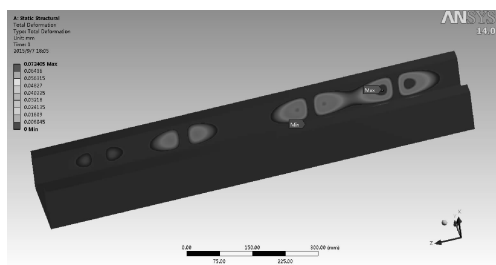


图 8 原始比例门框整体变形量云图

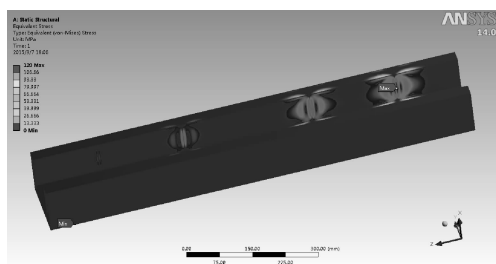


图 9 门框整体应力云图

4 结语

在防汛工作状态下,矩阵式排布的装配式止水闸门可替代传统的人工砂袋堆砌,大大提高了地下空间出入口部的防汛能力。经过对装配式止水闸门结构进行计算分析,得出以下结论:

(上接第 96 页)

吸引社会资本投资并给予合理回报,以平衡项目资金。通过有效的项目管理^[7],实现项目投资目标、质量目标、进度目标之间的相对统一。

5 结语

北京市地下空间开发还存在巨大的潜力,围绕轨道交通建设的地下空间资源若被合理利用,将会有效提高城市土地的集约化,并能取得较好的投资收益。建立并完善相关法规、政策、建设及管理体系,创造以协同规划、同步实施、综合开发、反哺地铁为建设模式的轨道交通地下空间开发项目,将对北京市地下空间的发展起到推动作用。MET

参考文献:

[1] 代朋. 城市地下空间开发利用与规划设计[M]. 2 版. 北京:中国水利水电出版社,2014:6-16.

1) 止水闸板设计符合水利水电闸门的相关规范要求,闸板在骨架支撑作用下,面板蒙皮采用 0.8 mm 的不锈钢板,接触式挤压密封,机构伸出行程约 25 mm,止水胶条均匀变形,密封系统可靠。

2) 开口式薄壁门框设计满足高度方向的上、下闸板叠加排布(止水高度 1 000 mm)要求,门框的最大变形量为 0.07 mm,位于最大水深的闸板挤压伸出面区域且对称分布;应力云图与最大变形量云图趋势一致,最大应力为 120 MPa,小于材料的容许应力。MET

参考文献:

[1] 徐乾清. 中国防洪减灾对策研究[M]. 北京:中国水利水电出版社,2002:343-458.
[2] 中国市政工程东北设计研究总院. 给水排水设计手册第七册:城镇防洪[M]. 3 版. 北京:中国建筑工业出版社,2014:4-11.
[3] 成大先. 机械设计手册[M]. 北京:化学工业出版社,2008:243-261.
[4] 东南大学. 不锈钢结构技术规范:CECS 410:2015[S]. 北京:中国计划出版社,2015.
[5] 薛志纯,余慎之,袁浩英. 高等数学[M]. 北京:清华大学出版社,2013:132-144.
[6] 黄志新,刘成柱. ANSYS workbench14.0 超级学习手册[M]. 北京:人民邮电出版社,2013:165-167.

收稿日期:2016-02-24

基金项目:科技部科研院所技术开发研究专项资金项目(2013BAJ152)

作者简介:尚文涛,男,工程师,硕士,主要从事机械设计与研发工作。

[2] 康宁. 谈美国地下空间的综合开发[J]. 中国人民防空,2001(127):44-45.
[3] 刘春彦,沈燕红. 日本城市地下空间开发利用法律研究[J]. 地下空间与工程学报,2007,3(4):587-591.
[4] 杨文武,吴浩然,刘正光. 论香港地下空间开发的规划、立法与发展经验[J]. 隧道建设,2008,28(3):294-297
[5] 高江. 城市地铁车站施工方法选择研究[J]. 工程建设与设计,2009(9):128-131.
[6] 苟伯让,李寓. 工程项目管理[M]. 北京:机械工业出版社,2008:5-13.
[7] SEARS S K,SEARS G A,CLOUGH R H. Construction project management—a practical guide to field construction management [M]. America: John Wiley & Sons Inc.,2008:9-15.

收稿日期:2016-02-29

作者简介:张芃非儿,女,经济师,硕士,主要从事轨道交通地下空间开发建设项目的全过程造价管理、招标管理及合同管理等相关工作。