

套加 U 型槽法在下穿式立交桥改造中的应用研究

李利军¹, 张国民¹, 刘强², 饶静婷³

(1. 山东建筑大学交通工程学院, 山东 济南 250101; 2. 聊城市公路事业发展中心, 山东 聊城 252000;
3. 聊城市技师学院, 山东 聊城 252000)

摘要: 随着我国交通基础设施的快速发展, 一些道路在平交口不可避免地以路堑下穿的方式通过地下水水位较高的地段, 给铁路和公路的行车安全带了严重隐患。依托聊城市城区五环快车道工程, 针对桥下积水问题, 采用套加 U 型槽结构的方法对聊城市外环路下穿铁路立交桥进行改造, 成功防治了地下水。现场监测和数值模拟相结合, 对施工和使用阶段套加 U 型槽结构的力学性能进行了研究。

关键词: 套加 U 型槽法; 防治地下水; 现场监测; 数值模拟

中图分类号: U443.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2021) 10—0152—03

随着我国铁路及公路等交通基础设施的快速发展, 为了节省占地, 使得我国的大中小城市中建设了大量的下穿式立交桥(通道)^[1-4]。由于这种设计使得桥下引道路面高程处在地下稳定水位线以下, 对于防排地下水的方式, 我国以前多半是采取埋设盲沟管、渗水管来汇集和排除地下水^[5-8]。而该种防排水方式具有管道极易堵塞、长期抽取地下水影响地基稳定和水资源环境, 道路水毁严重的缺点, 给铁路和公路的运输安全带来了严重隐患, 连年翻修浪费了大量养护资金^[9-10]。

套加 U 型槽是在既有桥(或涵)结构和两侧引道的基础上, 在挡土墙内侧增加钢筋混凝土两垂直边墙, 在引道路槽底及桥下增加钢筋混凝土底板共同组成 U 型的封闭结构, 将地下水封闭在墙后及底板之下。它既不长时间抽取地下水又能确保路堑干燥稳定, 且具有结构简单, 不封闭交通, 造价低廉, 施工方便等优点。并具有完善的排水设施(集水井、集水槽、通管路和泵站)来处理地表积水问题。

本项目依托聊城市城区五环快车道工程, 桩号为西环 K13+881 ~ K14+286 段的下穿铁路立交桥, 通过结构设计、理论论证、数值模拟和现场检测验证了该法在既有下穿立交桥(涵)地下水的防治中是有效可行的。

1 套加 U 型槽结构

聊城西环路处于地下水丰富的平原地区, 一些线路不可避免地以路堑下钻的方式通过地下水水位较高的地段, 甚至某些沿线下穿式立交桥涵常年积水问题非常严

重, 给铁路运输安全带来了严重隐患, 也给人们的出行、生产、生活带来了极大的不便, 甚至危及人民生命和财产安全。为了解决这一问题, 对聊城市外环路下穿铁路立交桥进行改造, 采用套加 U 型槽结构的方法防治地下水。

聊城西外环路 U 型槽工程下穿京九铁路, U 型槽总长度 405m, 除下穿 5 座铁路框架桥处为异形板块外, 一般板块分段长度 15 m, 共分为 26 块板块; 各板块之间设 2cm 沉降缝和橡胶止水带。U 型槽全宽 16m, 底板厚度为 0.7m, 侧墙高度为 0.39 ~ 1.68m, 侧墙厚度为 0.3m。采用 C40 抗渗砼。底板下层为 15cm C20 素混凝土 +20cm 碎石垫层; 底板上层为 15cm 磨耗层 +4cm 改性沥青混凝土。机动车道、非机动车道集水井设置在 K14+159 处, 纵向长度为 163cm, 净宽度为 80cm; 机动车道集水井采用直径 100cm 圆管通向泵站, 通过泵站将水排出。

2 套加 U 型槽计算理论

弹性地基梁主要研究地基土模型和模型求解。国内外对弹性地基梁都做了很多研究, 理论也相对成熟。求解地基反力的模型有三种, 包括反力直线分布地基模型、文克尔地基模型、无限弹性体地基模型^[11-13]。

对于套加 U 型槽的底板, 主要承受底板自重、水浮力、车辆等活载, 以及两侧边墙底端对其产生的弯矩。底板计算中, 采用极限应力法, 将底板假设为弹性地基上的基础梁, 按照文克勒假定进行计算^[14-15]。对于套加

U型槽的侧墙，按悬臂梁考虑，主要受到侧墙自重及侧墙背水压力。

3 套加 U 型槽现场监测

结合弹性地基梁理论，分析套加 U 型槽的作用机理，总结其结构的受力特性。应用现场试验，通过在套加 U 型槽关键部位埋设传感器，来监测其应力应变，从而监测其在最大水浮力及压力作用下的受力状况。通过有限元软件模拟套加 U 型槽在水浮力等荷载作用下的受力状况。通过对实测数据和模拟数据进行对比分析，更好地了解分析验证套加 U 型槽的受力状况。

K14+120.3 处 U 型槽段的底板标高为整个 U 型槽结构的低处，该槽段长 22m，紧邻集水井，此处 U 型槽将受到最大的水浮力（水压力）作用，因此选择此槽段的跨中（11m）及 1/4 跨（5.5m）断面埋设传感器，埋设位置示意图，见图 1~ 图 2 所示。

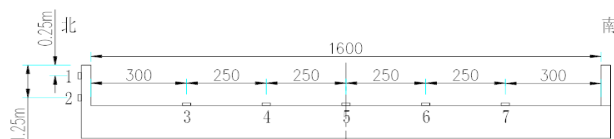


图 1 混凝土应变计布置

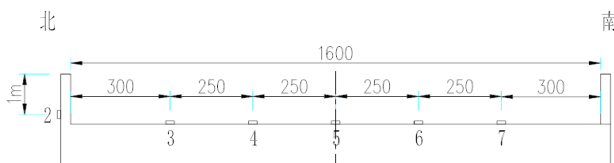


图 2 钢筋应力计布置

每个断面处即埋设钢筋传感器，同时也埋设混凝土应变传感器，两传感器纵向间距 30cm，主要是为了对监测的数据进行对比。同一断面处混凝土应变传感器 7 支，钢筋应力传感器 6 支，总计 26 支。底板传感器均焊接或绑扎在顶层钢筋上，侧墙传感器均焊接或绑扎在外层钢筋上。

4 套加 U 型槽仿真分析模型

套加 U 型槽的数值仿真分析采用 midas FEA 软件，是一款土木领域的高端非线性仿真分析软件。此软件可以考虑混凝土的收缩、徐变，可以考虑钢筋和混凝土的相互关系及作用。

4.1 套加 U 型槽仿真分析模型

套加 U 型槽采用 C40 混凝土，HRB335 钢筋。主要考虑的荷载有结构自重、二期恒载、混凝土收缩徐变、

水压力（按最不利考虑，即按最高水位与槽侧墙顶平齐，最低水位位于顶板以下）、温度（变化范围为 35~5℃）。根据 U 型槽实际宽度建模，纵向取 1m 的宽度。仿真模型如图 3 所示。

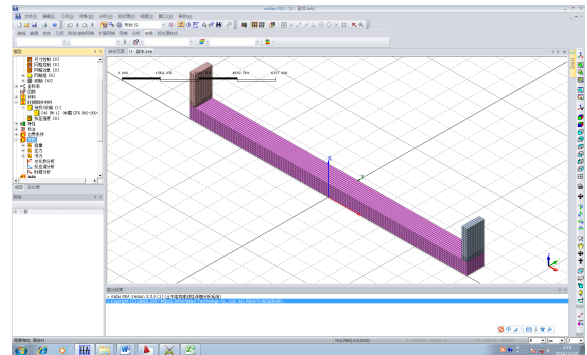


图 3 套加 U 型槽模型

4.2 套加 U 型槽结构受力及工作阶段

仿真分析考虑了两个工作阶段：施工阶段和使用阶段。施工阶段共计 50 天，包括套加 U 型槽底板钢筋混凝土施工、两侧墙的施工及二期荷载的施工。使用阶段计算考虑最不利水压力。混凝土的收缩徐变均按实际混凝土浇筑时间考虑。

4.3 套加 U 型槽数值仿真结果

通过数值仿真分析，套加 U 型槽最不利受力发生在使用阶段，使用阶段的最不利受力汇总见表 1。施工阶段套加 U 型槽混凝土的应力、应变和位移以及钢筋的应力均较小，这是因为 U 型槽尚未受到水浮力的作用，此阶段承受的主要作用为混凝土的收缩和徐变。运营阶段最不利水压力作用下，套加 U 型槽整体横向位移最大为 2mm，竖向位移最大为 1.2mm，位移相对于结构自身尺寸均较小。混凝土最大压应变为 $-259 \mu \epsilon$ ；混凝土最大压应力 -0.5 MPa ，小于规范允许值 -18.40 MPa ；最大拉应力为 0.79 MPa ，小于规范允许值 1.65 MPa ；钢筋最大压应力为 -49.6 MPa ，小于规范允许值 -280 MPa 。

表 1 数值仿真结果汇总表

底板龄期 / 天	最大横向位移 / mm	最大竖向位移 / mm	混凝土应变 / $\mu \epsilon$	混凝土应力 / MPa	钢筋应力 / MPa
90	0.60	0.80	-54~-79	-0.4~0.4	-15.4~-10.5
120	0.70	0.90	-63~-93	-0.39~0.4	-18~-11.9
150	0.76	0.94	-71~-102	-0.38~0.42	-19.8~-13.2
180	0.82	0.98	-78~-110	-0.38~0.42	-21.4~-14.4
220	0.93	1.01	-90~-124	-0.36~0.43	-24.2~-16.7
250	1.00	1.03	-98~-133	-0.36~0.43	-25.9~-18.1
290	1.08	1.05	-107~-143	-0.35~0.45	-27.9~-19.7
350	1.19	1.21	-116~-158	-0.33~0.47	-30.7~-21.7
390	1.23	0.87	-127~-163	-0.34~0.50	-31.4~-22.9
420	1.27	0.87	-131~-169	-0.33~0.51	-32.4~-23.8
3650	2.03	0.61	-195~-259	-0.5~0.79	-49.6~-35.5

结构在自重、二期恒载和最不利水压力作用下，结

构的裂缝宽度达到最大值 0.05mm，发生在底板跨中顶面和侧墙与底板交界处外侧，如图 4 所示。

通过对套加 U 型槽的受力分析，材料的应力、应变和裂缝宽度及变形均满足规范要求。

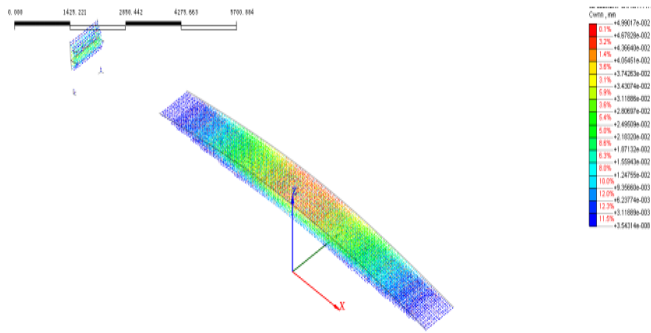


图 4 套加 U 型槽裂缝宽度 (mm)

5 套加 U 型槽数值仿真分析与实测结果对比

取跨中第 5 点 (如图 3、4) 的混凝土应变、钢筋应力的实测值与仿真结果进行对比，对比结果如图 5 所示。实测值和理论值都随着时间的推移压应力、应变在持续增大，二者变化趋势一致，且二者数据吻合良好。实测结果进一步验证了数值模拟的正确性。

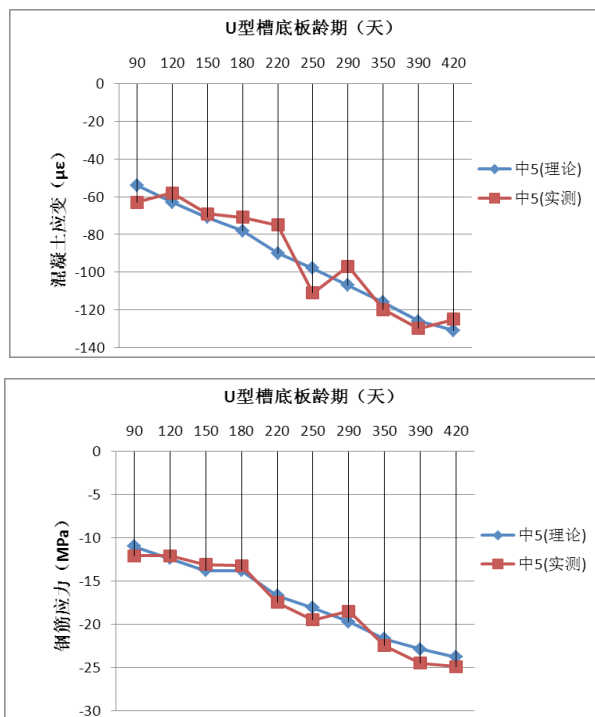


图 5 中 5 位置理论值与实测对比

6 结论

以聊城市城区五环快车道下穿铁路立交桥改造工程为研究对象，对采用套加 U 型槽结构的方法防治地下水进行了研究，得出以下结论：

(1) 套加 U 型槽施工阶段和运营阶段计算的材料应力、应变和裂缝宽度及变形均满足规范要求，仿真分析结果验证了结构设计的合理性。

(2) 套加 U 型槽混凝土应变和钢筋应力实测值和理论值都随着时间的推移在持续增大，二者变化趋势一致，且二者数据吻合良好。实测结果进一步验证了数值模拟的正确性。

(3) 套加 U 型槽法能有效地防治下穿式立交桥地下水过高带来的行车安全问题，项目建成多年来，未发生过桥下积水问题。

参考文献：

- [1] 李蓬. 高速公路新建工程下穿高铁大桥安全影响评估及处置技术研究 [D]. 郑州大学硕士学位论文, 2017.
- [2] 费文燕. 下穿立交引道中 U 型槽结构设计与分析 [J]. 路基工程, 2015 (5) :149-152.
- [3] 刘海涛, 程晓明. U 型槽结构抗浮桩设计计算方法探讨 [J]. 佳木斯大学学报 (自然科学版), 2017 (1) :43-45.
- [4] 胡康琼. 多年冻土区 U 型槽的水平冻胀特性试验及理论研究 [D]. 北京交通大学硕士学位论文, 2017.
- [5] 梁雄, 周建庭, 杨圣超. 湿软土地段 U 型槽式结构应用技术 [J]. 重庆交通大学学报 (自然科学版), 2007 (6) :55-59.
- [6] 孙爱斌, 吴连海. 天津某封闭式路堑 U 型槽结构的设计与计算 [J]. 铁道工程学报, 2006 (7) :49-53.
- [7] 丁兆峰, 吴沛沛. U 型槽结构设计与分析 [J]. 铁道工程学报, 2009 (4) :13-16.
- [8] 谢松兵. 地下水路堑加固设计及施工要点简述 [J]. 铁道勘察, 2009 (3) :30-32.
- [9] 黄大维, 周顺华, 宫全美, 等. 软土地区地铁不同结构间差异沉降特点分析 [J]. 同济大学学报 (自然科学版), 2013 (1) :95-100.
- [10] 李海光. 新型支挡结构设计工程实例 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2011.
- [11] 孟美丽, 高海彬. 封闭式路堑 U 型槽结构的设计和计算 [J]. 铁道建筑, 2011 (8) :81-83.
- [12] 杨维加. 弹性地基梁的三角级数解法 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.
- [13] 李潇, 王宏志, 李世萍, 等. 解析型 Winkler 弹性地基梁单元构造 [J]. 工程力学, 2015 (3) :66-72.
- [14] 马飞, 艾智勇. 考虑接触摩擦效应时的弹性地基杆系有限元法 [J]. 岩土力学, 2012 (1) :93-96.
- [15] 冯又全, 杨敏. 线性分布基床系数弹性地基梁有限单元法改进 [J]. 岩土力学, 2014 (10) :3027-3034.