

文章编号 :1006 - 2106(2006)07 - 0049 - 05

天津某封闭式路堑 U 型槽结构的设计与计算^{*}

孙爱斌 吴连海^{**}

(铁道第三勘察设计院 , 天津 300251)

摘要 :研究目的 根据本公铁立交工程中道路以下钻方式通过地下水路堑的特点 ,对封闭式路堑 U 型槽结构的设计与计算进行研究 ,以解决地下水渗流和渗透问题。

研究方法 :针对本工程的地质、水文条件 ,结合国内研究成果及多项成功的工程实例 ,对封闭式路堑 U 型槽结构形式的选型、边墙及底板的受力进行了分析和计算。

研究结果 :通过对封闭式路堑 U 型槽结构的有关理论、工艺问题的探讨 ,探索出一套成功的设计计算方法 ,为进一步推广这一结构提供了设计实例参考和实践经验。

研究结论 :封闭式路堑 U 型槽结构是一种较新的结构形式 ,一般适用于地下水位较高或地下水渗透系数较大的含水地层及某些特殊原因不允许降低地下水的路堑。

关键词 :封闭式路堑 ;U 型槽结构 ;设计 ;计算

中图分类号 :U416.1⁺3 **文献标识码** :A

The Design and Calculation for One of the Closed Type U Shape through Cutting in Tianjin

SUN Ai - bin ,WU Lian - hai

(The Third Survey & Design Institute of China Railway , Tianjin 300251 , China)

Abstract :**Research purposes** :On the basis of the fact that the road for one of the crossing of highway and railway in Tianjin drilled through the ground water cutting , the problems in seepage and permeability of the ground water were solved through making researches on the design and calculation for the closed type U shape through cutting.

Research methods :According to the geological and hydrological conditions for this project and in combination with the research achievements at home and several successful practical examples , the analysis and calculation have been made on the design type selection , the stress of side wall and bottom board for the closed type U shape through cutting.

Research results :A set of successful design and calculation method was explored through the discussion for the related theory and technics problems of the closed type U shape through cutting. And a design example and experience to further extend the use of this structure type was provided.

Research conclusions :The closed type U shape through cutting is a new structure type , which is suitable to be used in the through cutting where soil is highly penetrable with water or ground water.

Key words :closed type through cutting ;U shape structure ;design ;calculation

随着我国经济建设的蓬勃兴起 ,铁路及公路等交通基础设施建设得到了迅猛和快速发展 ,建设要求和

* 收稿日期 2006 - 05 - 26

** 作者简介 :孙爱斌 ,1974 年出生 ,男 ,工程师 ;吴连海 ,1962 年出生 ,男 ,教授级高级工程师 ,现任铁道第三勘察设计院地路处副总工程师。

标准也不断提高。为了保证行车速度和安全,大量的铁路、公路平交改为立交,一些线路不可避免的以路堑下钻的方式通过地下水水位较高的地段。封闭式路堑 U 型槽结构由此开始出现,且应用逐渐增多。封闭式路堑 U 型槽结构是一种较新的结构形式,一般适用于地下水渗透系数大于 5 m/d 的含水地层及某些特殊原因不允许降低地下水的路段。但是目前对于这种结构尤其是其底板的计算还未见公认的最优方法,也没有相应的设计规范,一些设计单位一般采用经验类比法估算底板内力,或者采用较简单的倒梁法加以计算。由此得出的结果在很多工程实例中与实际情况出入较大,甚至发生工程事故。因此有必要加以改进,采用一种较为合理的计算方法。本文在成功设计并施工了多处封闭式路堑 U 形槽结构工程的基础上,介绍和探讨天津某 U 型槽结构的设计和计算方法。

1 工程地质及水文地质概况

某工程位于津浦铁路与天津市某道路交口处,道路下穿既有津蒲铁路。道路两侧高楼林立,尤其是在穿过津蒲铁路后右侧的高层公寓离设计路肩只有 9 m。道路为双向 4 车道,边墙间净宽度 16 m。槽内边墙最大净高 6.8 m。基坑最大挖深 10.3 m,地下水位埋深 1.5 m,水位升降幅 1~1.5 m。工程开挖对公寓的影响较大,因此在施工过程中要控制开挖而引起地表沉降和变形。

1.1 工程地质

- 本区段主要地层有：
- ①填土层,主要为杂填土,杂色,厚度一般为 2.3~3.5 m 左右,含建筑垃圾及生活垃圾等。
 - ②第Ⅰ陆相层(Q_4^{3al}):主要为粘土层,褐黄色到灰绿色,可塑状态,含铁质、云母、姜石等,中压缩性。厚度一般为 2.0~4.2 m 左右。
 - ③第Ⅰ海相层(Q_4^{2m}):主要为亚粘土,灰色,饱和,软塑~流塑状态,含云母、有机质、贝壳,中压缩性。厚度 7.6~8.9 m。
 - ④第Ⅱ~Ⅲ陆相层($Q_4^{1al} \sim Q_3^{cal}$):主要由粘性土组成,局部夹有亚砂土、砂土透镜体,根据地层揭示情况将本层土分为 2 个亚层。
 - ④-1 亚粘土层,灰黄色~黄褐色,可塑状态,含铁质、云母、局部少量贝壳,中压缩性,厚度 13.4~15.2 m。
 - ④-2 粘土层,褐黄色,硬塑状态,含铁质、云母、姜石,中压缩性。厚度 3.3~6 m,局部以亚粘土形式存在。

限于篇幅,以下地层不再详述。

1.2 地层承载力基本值

表 1 地层承载力基本值

时代成因	地层编号	岩土名称	承载力基本值 σ_0 /kPa
Q_4^{3al}	②	亚粘土	115
Q_4^{2m}	③	亚粘土	100
$Q_4^{1al} \sim Q_3^{cal}$	④-1	亚粘土	160
	④-1 夹	亚粘土	180
	④-2	粘土	170

1.3 场地土类型及场地类别

该场区为非液化场区,场地土类别为Ⅲ类。

2 封闭式路堑结构的型式选择

封闭式路堑横断面设计成 U 形槽整体结构,采用抗渗标号不低于 B6 的 C30 防水钢筋混凝土现场浇筑而成。其基本部分为边墙和底板两大部分。

2.1 边墙

边墙横截面型式一般可分为 3 种：

2.1.1 矩形

该型式横断面宽度不随深度而变化。一般用于挖深较小或边墙受力较小的路段,其优点是设计及施工简单,但缺点是当挖深较大或受力较大时,上下端都采用较大的截面宽度,容易造成材料浪费,或者当线路平面布置该边墙位置宽度有限制而小于边墙受力所需要的截面宽度时,则无法采用。

2.1.2 阶梯型

由于边墙下部受到的土压力及水压力较上部大,而阶梯型边墙尺寸随深度呈阶梯型加大,故阶梯型结构可使边墙下部刚度相应提高,这样可避免矩形截面上部材料浪费和顶部过大占用横向距离的缺点。但该型式也有自身的缺点,如截面宽度变化处直角的存在易产生应力集中,受力钢筋不好布置,边墙外侧的防水层施工质量难以保证且折角处容易破坏。

2.1.3 梯形

即渐变型,该横断面形式的边墙顶部宽度较小,同时可以避免以上 2 种形式的缺点,且因其上小下大的截面形式也能很好的适应土压力和水压力的应力分布,因此本工程 U 形槽结构采用梯形边墙。根据边墙高度和地下水位的高低,边墙顶部宽度一般取 0.4~0.6 m 左右。边墙内侧坡度一般直立,但有时为了开阔视野并减小深巷的压抑感也可取 1:0.125~1:0.15;边墙外坡坡度一般可取 1:0.15~1:0.2。本工程边墙顶宽采用 0.5 m,内坡直立,外坡坡度 1:0.2。

实际工程中,根据线路平面设计及立交孔跨的不同,U 型槽结构分别对应单孔、双孔、三孔等桥涵立交时,可分别采用图 1、图 2 所示的结构图。双孔立交

桥引道上、下车道间可设直墙式隔离带或者防撞隔离墩。根据设计经验和工程事故实例,一般认为 U 形槽中间路幅净宽度以 20 m 左右为宜,过宽时应采用个别设计或分幅设计,以避免造价过高或底板中部隆起开裂等破坏。本工程采用图 1 的横断面形式。

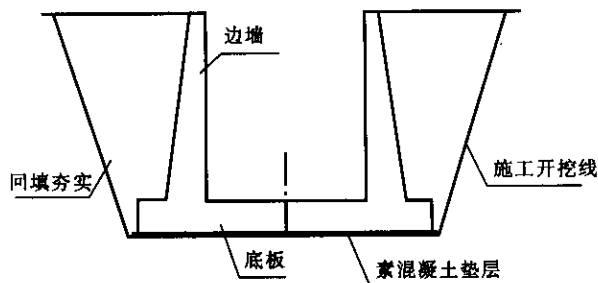


图 1 单孔及双孔桥立交引道 U 型槽结构横断面示意图

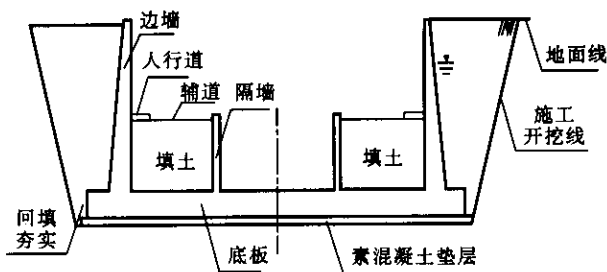


图 2 三孔桥立交引道 U 型槽结构横断面示意图

2.2 底板

底板一般采用矩形断面,其两端可以不伸出边墙外侧,也可以适当伸出一定长度,此长度根据边界宽度的限制或抗浮计算来确定。如果通过底板增重的方法来满足抗浮条件时,通过实际计算可知,在同样满足抗浮的条件下,伸出 1 m 左右的长度,可以比两端不伸出时减少一定底板的厚度。本工程在边墙净高 6.8 m,地下水位低于墙顶 0.5 m 条件下,两端各伸出 1.0 m 长,比不伸出时底板厚度减少 0.5 m 左右。

3 封闭式路堑 U 型结构的设计方法

该结构采用极限状态法进行设计。但需指出,如果边墙外侧顶部还设有辅道尤其是铁路时,要考虑边墙在使用荷载下的疲劳,必要时可采用容许应力法进行校核,算出构件中各点在使用荷载作用下的应力值,要求任一点的应力不超过材料的容许应力。封闭式路堑 U 型结构按极限状态法设计中,其可靠度、安全等级、荷载分项系数是今后需进一步研究的方向和课题。

4 结构计算力系和方法

U 型槽结构的计算力系,应考虑边墙自重、底板自重、边墙墙背土压力和水压力、地下水浮力和活载。取

高水位有荷载、无荷载及低水位有荷载、无荷载等各种组合中最不利者进行结构设计计算及地基反力验算。此外,在高烈度地震区,应考虑地震力的作用。

U 型槽结构的计算主要也分为两大部分:边墙计算和底板计算。

4.1 边墙的计算

4.1.1 边墙自重

根据结构初步拟订的断面尺寸及材料容重计算。梯形边墙截面应计算其上三角形土体的重力。

4.1.2 边墙墙背土压力及水压力

作用在边墙上的荷载,除了土压力外,还有地下水的水压力。边墙土压力和水压力是设计边墙、底板断面尺寸及验算其稳定性和强度的主要荷载。

水压力与地下水的水位、补给来源、季节变化、边墙高度、排水处理方法等因素有关。

计算地下水位以下的水、土压力,一般分“水土分算”和“水土合算”两种方法。对砂性土和粉土,可按水土分算原则进行。对粘性土可根据现场情况和工程经验,按水土分算和水土合算进行^[1]。水土分算法是采用浮容重计算土压力,按静水压力计算水压力,然后两者相加即为总侧压力。水土压力合算法是采用土的饱和重度计算总的水、土压力。本工程边墙压力的计算采用了水土分算法。

边墙土压力的大小和分布,除与土的性质有关外,还和墙体的位移方向、位移量、土体与结构物间的相互作用以及挡土结构物类型有关。

U 型结构边墙一般需要较大的结构尺寸,而用钢筋混凝土所筑成的断面较大的挡土墙,其刚度大,墙体在墙后填土的侧压力作用下,U 型结构边墙与水闸、船闸的边墙一样与其底板连成一体,边墙发生产生主动土压力的位移量也是结构本身所不允许的。因此应该按照静止土压力计算。经铁路工程十几处不同尺寸的封闭式路堑 U 型槽结构的设计施工和运营验证,U 型结构边墙的土压力采用静止土压力的方法计算是成功的、合理的。因此本结构也采用了静止土压力方法计算土压力,并按照受弯构件用极限状态法进行内力及截面配筋计算。

4.1.3 活载

边墙计算需要考虑的活载为墙顶外侧活载(边墙外侧顶部有辅道时)。墙顶外侧车辆荷载通常用一个均布荷载来代替,进行相应的土压力计算。

4.1.4 边墙结构计算

本工程采用以上荷载最不利荷载组合值,按照《混凝土结构设计规范》及相应的专业规范规定的计算公式进行边墙受力计算及其正截面强度计算,受力

钢筋的计算、截面抗裂度检算、斜截面抗剪强度检算和裂缝宽度验算,此不详述。

4.2 底板的计算

4.2.1 活载

底板计算需要考虑的活载包括槽内底板上的汽车荷载和人群荷载。槽内的汽车荷载按等效集中力计算,人群荷载按照均布荷载计算。对汽车荷载根据 U 型结构的分段长度,取最不利轴重荷载作为控制计算或验算荷载,并转换为每延米范围内作用在底板上的等效集中力。

4.2.2 端部弯距

本工程边墙底部与底板相连接处截面较大,视为刚性连接。因此将土、水压力作用在边墙上产生的弯距加在边墙与底板连接处,作为底板的集中弯距考虑。

4.2.3 地下水浮力

地下水的水位常因气候、水文、地质、人类生产活动等因素的影响发生变化。从地基与基础角度来讲,地下水位的变化能引起不良的后果。因为,地下水对水位以下的岩土体和结构不仅有静水压力的作用,而且有浮力产生。这种浮力可以岩土体的岩石体积部分或土颗粒体积部分的浮力计算。

当建筑物位于粉土、砂土、碎石土和节理裂隙发育的岩石地基时,按设计水位 100 % 计算浮力;

当建筑物位于节理裂隙不发育的岩石地基时,按设计水位 50 % 计算浮力^[2];

当建筑物位于粘性土地基时,其浮力较难确切确定,目前较为通用的做法是可以考虑一个适当的折减系数,但这个折减系数取值的大小需要进一步的研究,并结合各地区的实际经验考虑。此外,考虑折减时宜适当提高抗浮安全系数。

因为地下水对地下结构物的上浮作用,在不利的荷载情况下,尤其在高地下水位情况下,有波动荷载之处,如地下水位突然上升时,若对上浮力或其可能的量值不能充分掌握,结构的重量包括静荷载小于地下水的上浮力,使地下水的上浮力占优势,则可能引起结构物的竖向位移或变位。因此,为保证结构的永久稳定,必须增强结构对竖向位移的抵抗能力,这可以通过以下几种途径来实现:

4.2.3.1 增加结构的重量

这是目前 U 型结构较为成熟也是应用最多的方法之一。通常就是把结构底板(和边墙)的厚度增加,以抵消地下水的上浮力。但是可以看出,增加底板厚度会使基底标高进一步下降,从而又增大了上浮力。因此增大圬工建筑的作用又会部分的被增大体积所排开的水抵消。

4.2.3.2 采用锚杆将结构锚固于下卧地层中

这种方法不需要排开更多的水,所以该方法所需的锚固力少于前一种方法中基底增加的重量。例如首都机场扩建工程的地下车库,为抵抗地下水的上浮力,就采用了 1 000 多根设计承载力大于 2 000 kN 的压力分散型锚杆,减小了地下室底板厚度 5 ~ 6 m,经济效果十分显著^[3]。

4.2.3.3 结构底板设置抗拔桩抵消地下水的上浮力

这种模式借鉴于桩基中的摩擦桩原理,但应注意其摩擦力宜适当折减。

4.2.3.4 有条件时,充分利用围护或基坑支护结构,将边墙顶锚固于围护结构上,此法借用围护结构的抗拔力将 U 型结构边墙“压住”,以防止其上浮。

本工程设计中仍然采用了增加结构重量的方法,并根据水的上浮力和结构总重量的关系初步计算出底板的厚度。

4.2.4 底板结构计算

底板的设计计算方法的采用目前也存在争论。本工程中底板的计算采用了弹性地基梁法,而弹性地基的解法又可细分为多种,且每种解法也有其最适应的地基条件。可归纳为表 2:

表 2 弹性地基的分类以及常用计算方法汇总表^[4]

计 算 方 法 分 类		温开尔 假定法	简单幂 基数法	郭氏法	链杆法	蔡氏法
地基 特性	温开尔地基论 ($H/L < 0.5$)	√				
	均质、连续 弹性体 半无限体 地基 ($H/L \geq 5$)		√	√	√	√
	有限体地 基 ($0.5 \leq H/L \leq 5$)		√		√	
空间 性质	平面问题		√	√	√	√
	空间问题		√		√	√
截面 特性	等截面梁		√	√	√	√
	变等截面梁		√		√	
荷载 方式	梁荷载		√	√		√
	边荷载				√	√

注: L ——计算梁长度的 0.5 倍; H ——地基压缩层厚度。

根据本工程的地基条件,设计中采用了幂基数法(西姆乌里基法)进行计算,并根据计算出的内力进行截面尺寸的确定和配筋,底板厚度为 0.5 ~ 1.7 m。此外,还根据计算出的地基反力大小进行了地基处理,处理方法分别采用了换填和水泥搅拌桩复合地基。

5 结语

本工程为我们今后对该类结构的设计提供了借鉴的经验。U 型槽结构虽然结构截面形式比较简单 ,但它包含很多细部和复杂的问题 ,比如沉降缝、伸缩缝的设置及其防水问题 ,边墙及底板的防水防渗问题 ,基坑开挖的支护问题等等。此外 ,需要特别指出的是 ,基坑开挖还应预先作好基坑的预降水和排水工作 ,这样可以减少或避免地下水引起的涌水、流沙和基坑底部隆起等危害。基坑排水方法可根据施工中放坡或设支护等具体的施工条件相应地采用明沟排水法或人工降低地下水水位法。

(编辑 马 丽)

(上接第 36 页)

求解 ,即可列误差方程

$$v=A\hat{x}-l$$

利用最小二乘求解 :

$$\hat{x}=(A^TPA)^{-1}(A^TPl) \tag{8}$$

根据联测点在 WGS 84 坐标系的大地坐标和对应独立坐标系坐标 ,利用公式 (8)进行转换参数求解 ,然后再根据上述解算得到的参数 ,将所有其它加密控制点 WGS 84 三维坐标通过布尔沙模型 (6)求的独立坐标系下的坐标。

3.4 平差法

原理 :首先进行 GPS 网的无约束平差得到地心地固系下的 WGS 84 坐标 ,然后得到联测点在指定中央子午线和投影高程面的独立坐标系下的坐标 ,最后将这些联测点作为约束点进行约束平差 ,直接得到独立坐标下的坐标。

该方法所有加密控制点的独立坐标通过平差得到 ,但必须注意的一点是 :在进行平差时 ,当地投影基准参数的设置必须正确 ,尤其是椭球半径的变化。

4 结论

上述几种模型的都是基于 GPS 测量在没有外部约束的条件下建立的独立坐标系 ,所得到指定高程面上的平面坐标 ,在坐标间的相对关系上是一致的 ,在不

参考文献 :

- [1] 陈忠汉 ,黄书秩 ,程丽萍. 深基坑工程(第二版) [M]. 北京 :机械工业出版社 2003.
- [2] 岩土工程手册编委会. 岩土工程手册 [M]. 北京 :中国建筑工业出版社 ,1994.
- [3] 程良奎 ,范景伦 ,韩军 ,等. 岩土锚固 [M]. 北京 :中国建筑工业出版社 2003.
- [4] 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.

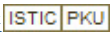
进行两化改正的情况下能够很好的解决投影变形对工程建设的影响 ,很容易达到高速铁路测量 2. 5 cm/km 的精度要求 ,方便了工程施工测量 ,对高速铁路的建设有很好的实用性。

建立独立坐标系 ,由于铁路线路距离长 ,跨度较大 ,1 条线路仅建立 1 个独立坐标系往往不能满足要求。因此 ,高速铁路测量应建立分段独立坐标系。在分段时 ,应保证相邻段边缘处的抵偿范围有一定的重叠以进行检验。

参考文献 :

- [1] 孔祥元 ,郭标明 ,刘宗泉. 大地测量学基础 [M]. 武汉 :武汉大学出版社 2001.
- [2] 徐绍铨 ,张华海 ,王泽民. GPS 测量原理与应用 [M]. 武汉 :武汉大学出版社 2001.
- [3] 黄劲松. GPS 测量与数据处理 [M]. 武汉 :武汉大学出版社 2003.
- [4] 李征航. 空间定位技术及应用 [M]. 武汉 :武汉大学出版社 2003.
- [5] 测量平差教研室. 测量学平差基础 [M]. 北京 :测绘出版社 ,1996.

(编辑 马 丽)

作者: [孙爱斌](#), [吴连海](#), [SUN Ai-bin](#), [WU Lian-hai](#)
 作者单位: [铁道第三勘察设计院, 天津, 300251](#)
 刊名: [铁道工程学报](#) 
 英文刊名: [JOURNAL OF RAILWAY ENGINEERING SOCIETY](#)
 年, 卷(期): 2006(7)
 被引用次数: 12次

参考文献(4条)

1. [陈忠汉](#); [黄书秩](#); [程丽萍](#) [深基坑工程](#) 2003
2. [《岩土工程手册》编写委员会](#) [岩土工程手册](#) 1994
3. [程良奎](#); [范景伦](#); [韩军](#) [岩土锚固](#) 2003
4. [杨维加](#) [弹性地基梁的三角级数解法](#) 2006

本文读者也读过(10条)

1. [谭红](#). [Tan Hong](#) [龙厦线封闭式路堑U型槽设计研究](#)[期刊论文]-[铁道建筑技术](#)2010(4)
2. [谭红](#). [TAN Hong](#) [龙厦线DK35封闭式路堑U型槽设计研究](#)[期刊论文]-[土工基础](#)2010, 24(3)
3. [谭红](#). [TAN Hong](#) [龙厦线DK35封闭式路堑U型槽设计](#)[期刊论文]-[山西建筑](#)2010, 36(1)
4. [杨植](#) [软土路堑加固与支护技术——封闭式U型槽的设计与施工](#)[期刊论文]-[城市建设](#)2010(11)
5. [梁雄](#). [周建庭](#). [杨圣超](#). [LIANG Xiong](#). [ZHOU Jian-ting](#). [YANG Sheng-chao](#) [湿软土地段U型槽式结构应用技术](#)[期刊论文]-[重庆交通大学学报\(自然科学版\)](#) 2007, 26(6)
6. [朱雪良](#). [Zhu Xueliang](#) [荡秋千中的物理学](#)[期刊论文]-[技术物理教学](#)2004, 12(1)
7. [姜树青](#) [秋千为什么能荡起来](#)[期刊论文]-[物理教师](#)2004, 25(7)
8. [徐江萍](#). [徐晓刚](#). [刘国清](#) [水泥粉煤灰稳定碎石基层性能研究](#)[期刊论文]-[中外公路](#)2005, 25(3)
9. [韩树成](#). [HAN Shu-cheng](#) [混凝土U型槽在铁路路堑施工中的防水应用](#)[期刊论文]-[科技情报开发与经济](#)2010, 20(5)
10. [尹扬辉](#). [YIN Yang-hui](#) [水泥稳定碎石基层骨料离析的防治](#)[期刊论文]-[工程建设与设计](#)2008(10)

引证文献(12条)

1. [王海峰](#). [韩涛](#) [封闭式路堑U形槽在某铁路工程中的应用](#)[期刊论文]-[铁道勘察](#) 2013(2)
2. [张柱兴](#) [输水渠道建设中预制U型槽应用分析](#)[期刊论文]-[广东科技](#) 2012(19)
3. [肖健英](#) [公路U型封闭式路堑在软土地区的应用](#)[期刊论文]-[天津建设科技](#) 2012(3)
4. [王文峰](#). [王慧玲](#) [封闭式路堑U型槽结构抗浮设计水位计算方法探讨](#)[期刊论文]-[工程勘察](#) 2012(8)
5. [孟美丽](#). [高海彬](#) [封闭式路堑U形槽结构的设计和计算](#)[期刊论文]-[铁道建筑](#) 2011(8)
6. [马涛](#). [邓 equal](#) [封闭式路堑U形槽结构设计分析](#)[期刊论文]-[铁道勘察](#) 2013(1)
7. [吴剑锋](#). [李季宏](#) [U型结构在铁路路堤地段的应用研究](#)[期刊论文]-[铁道标准设计](#) 2013(9)
8. [李虹](#) [公路U形封闭式路堑优化设计方法探讨](#)[期刊论文]-[铁道标准设计](#) 2011(9)
9. [周革](#) [U形槽结构在龙厦铁路某地下水发育路堑中的设计与应用](#)[期刊论文]-[铁道标准设计](#) 2009(3)
10. [刘西灿](#). [孙艳茹](#) [城市钢筋混凝土U型框架封闭引道的设计与应用](#)[期刊论文]-[黑龙江交通科技](#) 2013(7)
11. [陈兴帅](#) [U型槽结构钢筋混凝土配合比设计及应用](#)[期刊论文]-[山东交通科技](#) 2011(5)
12. [王金艳](#) [北京轨道交通大兴线U形结构设计与施工技术](#)[期刊论文]-[铁道标准设计](#) 2011(11)

