

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2018.01.12

引用格式: 李琬荻. 高地下水位区地铁工程 U 型结构的设计方法[J]. 中国地质调查, 2018, 5(1): 82-88.

高地下水位区地铁工程 U 型结构的设计方法

李琬荻

(中国铁路设计集团有限公司, 天津 300143)

摘要: 为解决天津某地铁出入段线地下水位较高、或受场地限制及某些特殊原因所不允许的降低地下水的路堑工程问题, 地下隧道与地上路基连接段采用 U 型结构通过。针对场地工程地质条件和水文地质特征, 同时结合国内多项工程实例, 确定该工程 U 型结构横断面形式, 边墙及底板的计算模型, 对结构受力、配筋进行分析和计算; 对裂缝宽度、抗浮稳定性进行验算; 选取基坑围护及地下水控制措施。计算模型边墙按悬臂梁、底板按弹性地基梁选取, 结构按最不利荷载组合进行配筋计算; 同时采用管井降水 + 止水帷幕对地下水进行控制。计算及验算结果均满足设计要求, 工程措施选择合理, 可为同类工程设计提供借鉴和参考。

关键词: 出入段线; U 型结构; 地下水位; 弹性地基梁; 工程地质条件

中图分类号: U231.1

文献标志码: A

文章编号: 2095-8706(2018)01-0082-07

0 引言

近几年, 随着国家对交通基础设施建设投入的逐渐加大, 城市轨道交通和高速铁路飞速发展, U 型结构设计在铁路干线和地铁中应用广泛。例如铁路、公路下钻式立交地段, 地铁区间从地下盾构隧道爬升至地面高架时的过渡段以及地铁出入段线, 等等。当线路以路堑形式通过地下水位较高、地层渗透系数较大、地下水排水困难区域时, U 型槽结构设计的刚度大、稳定性高、防水性能好的优势得以体现, 同时该结构具有收坡支护的功能: 丁兆锋等^[1]对 U 型结构设计中的理论计算模型、内力计算以及结构施工图等问题进行过探讨; 孟美丽等^[2]主要研究了 U 型结构的计算模型及原理; 崔俊杰等^[3]对边墙水土压力问题进行了讨论; 吴剑锋等^[4]阐述了路堤段 U 型结构的应用。

本工程位于天津某地铁出入段线, 沿城区由西向东敷设。线路两侧有鱼塘及沟渠, 地下水位较高。为保持同地下区间整体道床的顺接, 故采用 U 型结构设计。本文在借鉴国内其他工程实例的基础上, 结合该工程特点对 U 型结构的设计方法进行

介绍, 为相关工程设计提供参考。

1 工程地质条件

1.1 地层岩性

本工程范围内第四系自上而下主要为:

(1) 全新统人工填土层 Q_{ml} 。

(2) 第 I 陆相层, 全新统上组河床—河漫滩相沉积 Q_{3al}^3 。

(3) 第 I 海相层, 全新统中组浅海相沉积 Q_4^2m 。

(4) 第 II 陆相层, 全新统下组沼泽相沉积 Q_4^1h 和河床—河漫滩相沉积 Q_4^1al 。

(5) 第 III 陆相层, 上更新统五组河床—河漫滩相沉积 Q_3^6al 。

(6) 第 II 海相层, 上更新统四组滨海—潮汐带相沉积 Q_3^4mc 。

(7) 第 IV 陆相层, 上更新统三组河床—河漫滩相沉积 Q_3^6al 。

(8) 第 III 海相层, 上更新统二组浅海—滨海相沉积 Q_3^5m 。

(9) 第 V 陆相层, 上更新统一组河床—河漫滩相沉积 Q_3^8al 。

岩性主要为填土、淤泥质土、黏性土、粉土及砂土。工程地质剖面如图 1 所示。

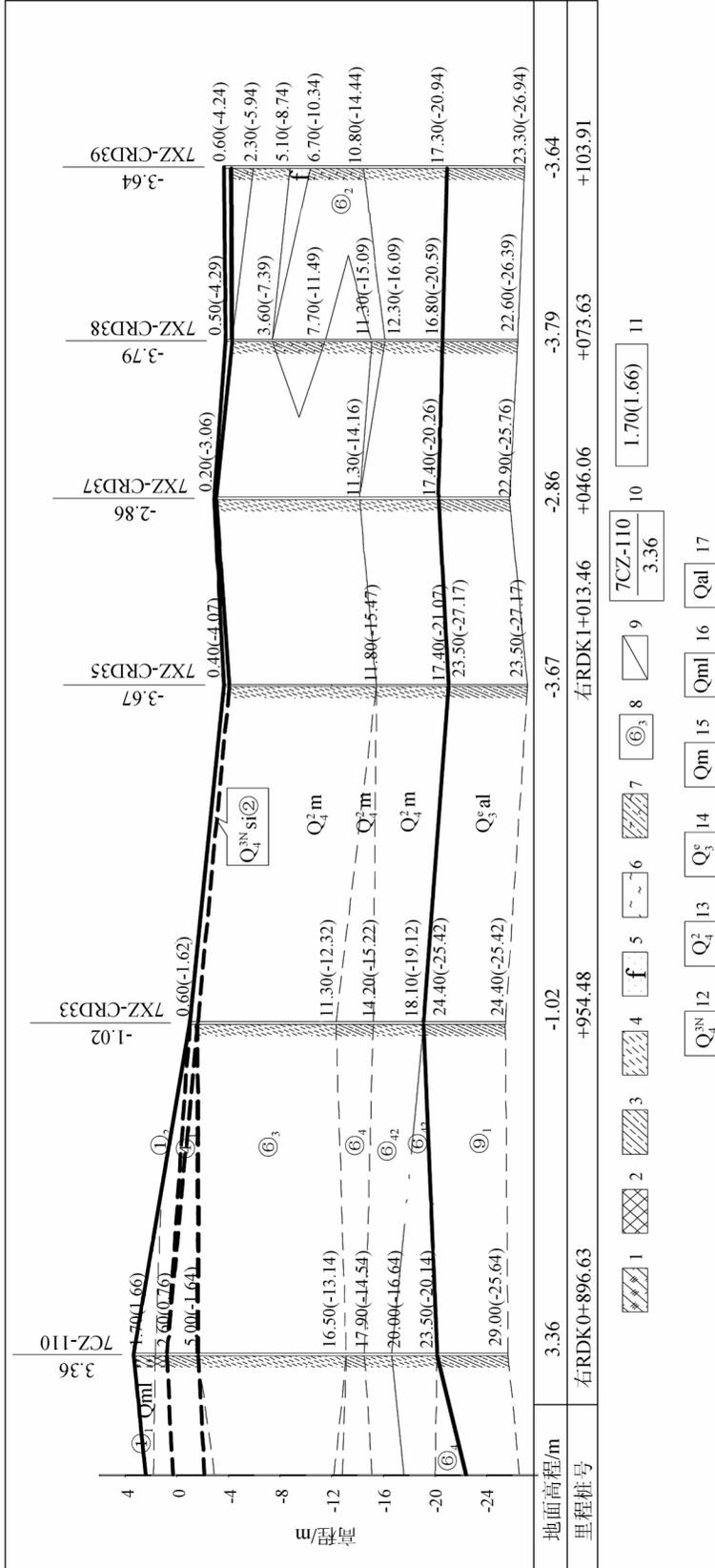


图 1 工程地质剖面图

Fig. 1 Engineering geological section

1. 杂填土; 2. 素填土; 3. 粉质黏土; 4. 黏质粉土; 5. 粉砂; 6. 淤泥; 7. 淤泥质粉质黏土; 8. 土层编号; 9. 岩层分界线; 10. 勘探孔编号/孔口高程;
11. 埋深 (标高); 12. 第四系全新统新近组; 13. 第四系全新统中组 (第 I 海相层); 14. 第四系全新统五组 (第 III 陆相层);
15. 第四系浅海相沉积层; 16. 第四系人工堆积层; 17. 第四系河床—河漫滩相沉积层

1.2 特殊土

特殊土主要为人工填土和软土。场地范围内表层普遍分布有人工填土,以杂填土及素填土为主(路面为混凝土或沥青路面)。杂填土厚度 0.6 ~ 4.2 m,素填土厚度 0.5 ~ 4.9 m,变化较大,填筑时间一般较短,成分复杂,分布不均匀。填土土质不均,易造成不均匀沉降,工程性质差,不适宜做天然地基,对基坑开挖及支护有较大影响。场地坑塘底部分布有新近沉积层淤泥,根据勘探揭示厚度 0.2 ~ 1.8 m,第 I 海相层普遍分布有淤泥质土,分布厚度差异大,其中淤泥质黏土厚 0.9 ~ 18.4 m、淤泥质粉质黏土厚 0.8 ~ 11.8 m。软土具有高含水量 ($w = 31.1\% \sim 55.0\%$)、高灵敏度、高压缩性、低强度和触变性及欠固结等特点,极易发生蠕动和扰动,工程性质差^[5]。

1.3 场地地下水类型及特征

场地浅层地下水为第四系孔隙潜水。赋存于第 II、第 III 陆相层中的粉土、砂土层中的地下水具微承压性,为浅层承压水。第 V 陆相层以下的粉土、砂土层中的地下水与浅层地下水没有直接联系或联系很小,为深层承压水^[6]。

上部潜水埋藏较浅,勘察期间地下水埋深 1.0 ~ 2.5 m,主要赋存于人工填土层、第 I 陆相层粉土与黏土以及第 I 海相层中的粉土、粉砂、黏土与淤泥质土层中。

下部微承压水主要以第 II 陆相层及以下的黏土为相对隔水顶板,主要赋存于第 II 陆相层、第 III 陆相层及以下的粉土、砂类土中。根据勘探揭示第一层微承压水基本与上部潜水连通;第二层微承压水,以第 II 海相层黏土及第 IV 陆相层粉质黏土、黏土为相对隔水顶板,顶板埋深 30.4 ~ 35.1 m,微承压水主要赋存于第 IV 陆相层黏质粉土、粉砂中,相对含水层基本呈层状分布,大部分含水层未揭穿,含水层厚度大于 1.8 m。

2 结构形式

U 型槽结构横断面具有多样性。边墙截面形式一般为矩形、阶梯形、梯形截面。一般而言,如果矩形截面上下宽度较大,易导致材料浪费,故截面形式多用于墙高较低结构^[2];而阶梯形截面宽度变化处易产生应力集中的问题。因此,本工程边墙横截面采用梯形形式,该横断面上窄下宽,能很好

地适应土压力和水压力的应力分布。胸坡直立,背坡坡率为 1:0.15,根据边墙高度和地下水位的高低,边墙顶部宽度为 0.3 m。底板采用矩形截面,考虑边界宽度的限制,同时根据抗浮计算确定本工程底板两端伸出边墙外侧 0.5 m^[7]。U 型结构采用 C50 防水钢筋混凝土现场浇筑,箍筋采用 HPB300 钢筋,其余钢筋采用 HRB400 钢筋。本工程 U 型槽结构的横断面如图 2 所示(L 为 U 型槽净宽(路面宽度); L' 为底板宽度; H 为边墙高度; h 为底板厚度; h' 为边墙顶高程; b 为边墙顶宽; B 为边墙底宽)。

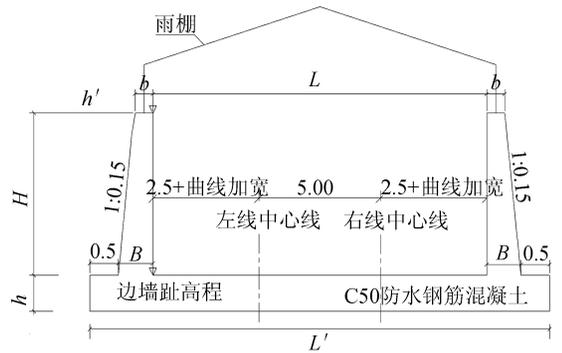


图 2 U 型结构横断面图(单位: m)

Fig. 2 Cross section of U-shaped structure(unit: m)

3 结构设计

3.1 边墙设计计算

U 型槽结构边墙视作固定在底板的悬臂梁,主要受力包括边墙自重、墙背土压力及水压力、罩棚作用力、结构外地面的车辆及人群荷载等活载。

边墙自重应根据初步拟定的断面尺寸和材料容重计算,同时应考虑梯形边墙上部三角形土体重力^[8]。

墙背土压力及水压力,边墙土压力和水压力是进行边墙、底板断面尺寸设计以及验算其稳定性和强度的重要依据。对于渗透性较强的土,例如砂性土和粉土,一般采用水、土分算。也就是,分别计算作用在边墙上的水压力 and 土压力,然后相加;对于渗透性较弱的土,如黏土,可以采用水土合算的方法^[9]。在实际工程计算中,如果严格按照砂性土和黏性土困难较大,本工程统一采用水土分算原则^[10]。由于结构为钢筋混凝土,边墙和底板视为刚性连接,边墙不发生侧向位移、偏转和弯曲变形,作用在其上的土压力即为静止土压力^[3],地下水压力按静止水压力计算。

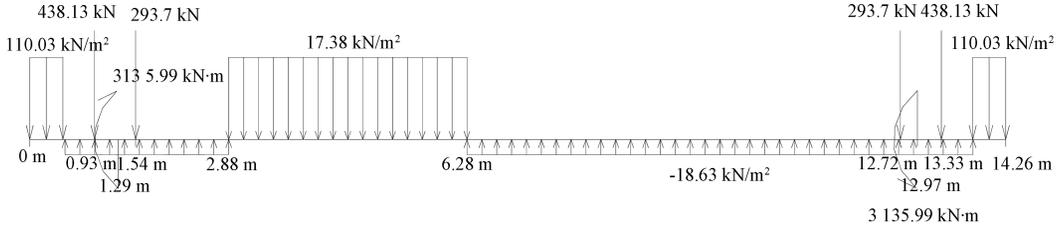


图4 地基梁梁段所受集中荷载及均布荷载

Fig.4 Concentrated load and uniform load of foundation beam

最大弯矩时的内力计算结果如图5所示。

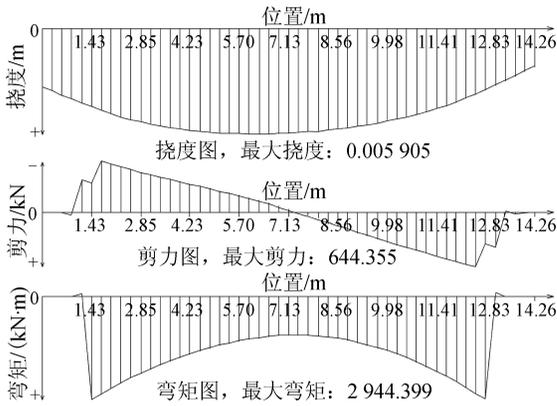


图5 最大弯矩内力计算结果

Fig.5 Calculation results of maximum bending-moment

底板配筋形式见图3,底板下部主筋 N_{1-1} 、上部主筋 N_{1-3} 、分布筋 N_{3-1} 为 HRB400 钢筋,箍筋 N_{2-1} 为 HPB300 钢筋。

4 裂缝宽度及抗浮稳定性验算

4.1 裂缝宽度验算

由于长期的荷载作用致使混凝土收缩,导致裂缝宽度逐渐增大;受拉区混凝土应力松弛及滑移徐变影响,裂缝间受拉钢筋的平均应变将不断增大,从而使裂缝宽度不断增大。根据本工程环境类别,确定钢筋混凝土构件的裂缝控制要求计算限值不大于 0.2 mm,经计算均满足要求。

最大裂缝宽度计算公式^[12]为

$$\omega_{max} = \alpha_{cr} \Psi \frac{\sigma_s}{E_s} (1.9c_s + 0.08 \frac{d_{eq}}{\rho_{te}}) \quad (4)$$

式中: α_{cr} 为构件受力特征系数,本工程中边墙及底板按受弯构件计算取 1.9; Ψ 为裂缝间纵向受拉钢筋应变不均匀系数; σ_s 为按荷载准永久组合计算的钢筋应力; E_s 为

钢筋的弹性模量; c_s 为最外层纵向受拉钢筋外边缘至受拉区底边的距离, mm; ρ_{te} 为按有效受拉混凝土截面面积计算的纵向受拉钢筋配筋率; d_{eq} 为受拉区纵向钢筋的等效直径, mm。

4.2 抗浮稳定性验算

场地地下水水位较高,结构设计时应考虑抗浮稳定性问题,按最不利情况进行抗浮稳定性验算^[14]。根据本场地地下潜水水位、天津地区经验及工程性质,抗浮设计水位可按大沽高程 2.50 m 考虑。在进行抗浮稳定性验算时,各荷载分项系数均取 1.0。在不考虑侧壁摩阻力时,其抗浮安全系数不得小于 1.05; 当计及侧壁摩阻力时,其抗浮安全系数不得小于 1.10 ~ 1.15。

抗浮稳定系数计算公式^[9]为

$$K_w = \gamma \sum G_k / KN_{w,f} \quad (5)$$

式中: K_w 为抗浮稳定安全系数; G_k 为 U 型结构和附属设施自重及压重之和; $N_{w,f}$ 为地下水压对 U 型结构的浮力; γ 为荷载分项系数,取 1.0; K 为浮力折减系数,取 1.05。

经验算,不同墙高段抗浮稳定系数均大于 1.05,满足设计要求,故无需采用增加压重和设置抗拔桩(锚)等措施^[15]。

5 基坑围护及地下水控制

由于场地地下水水位较高,在水平、垂直水平方向具有明显差异,U 型结构埋深较大,明挖基坑工程开挖过程中在水压力作用下易产生潜蚀、突水及管涌现象,设计时必须采取支护及止水、降水措施。

5.1 基坑围护

围护结构采用 C30 钢筋混凝土钻孔桩。基坑开挖可能造成坑底土体回弹隆起,会导致土体的强度降低,严重时造成周围土体的流失,危及基坑及附近构筑物的安全,导致基坑失稳等工程事故。故

在冠梁处设置带活络接头的圆钢管支撑。

5.2 地下水控制

场地基坑开挖深度及影响范围内分布有粉土、粉砂,基坑开挖时,若不采取降水措施,土在水头差的作用下,易产生流砂或涌泥现象,且邻近有沟渠和道路,故采用基坑内管井降水结合截水措施,管井设置为沿线路按每 10~20 m 一个,位于结构中心位置。场地基坑开挖范围内有厚层潜水含水层的粉土和粉砂层,含水量大,故在基坑开挖前,预先沿基坑埋设滤水井,抽水使地下水降至坑底下一定深度,同时在基坑开挖和地下主体结构施工过程中仍不断抽水。该降水方法排水量大、效果好且所用的设备简单^[16]。

线路沿线两侧分布的河流和大型鱼塘,对基坑的开挖和支护有很大影响,因此设计及施工中应考虑其对地铁基坑开挖及支护的影响,应做好截水措施,防止鱼塘及河流水对基坑降水的补给而导致地表变形破坏。采用的截水方案是在围护桩外侧设双排水泥土搅拌桩(桩长 6~16 m,桩径均为 0.6 m)作为止水帷幕。当需要严格控制邻近道路或建筑物的附加沉降时,必须加强地下水控制方案,可采用水帷幕+搅拌桩封底措施,这样在基坑内降水的同时,可保证基坑外的地下水位不变。

6 结论

(1) U 型结构受力复杂,计算中的重点和难点是计算模型的选取,目前边墙按悬臂梁,底板按弹性地基梁理论对 U 型结构进行分析是较为普遍且可行的做法。

(2) 对 U 型结构进行计算时应考虑结构自重、边墙土压力、地下水压力及列车活载等荷载。其中边墙土压力和水压力采用水土分算原则,土压力按静止土压力考虑。在求解结构内力时,应根据结构的特性,考虑多种荷载同时作用的组合情况,按最不利荷载组合进行配筋计算。

(3) U 型结构宜按单筋矩形截面受弯构件正截面受弯承载力进行设计,除按计算结果配置受力钢筋外,还应合理地配置箍筋和分布钢筋,对容易出现应力集中的控制截面还需布置必要的加强钢筋。

其控制截面为边墙底部截面、底板固结段根部截面及跨中截面。

(4) U 型结构的抗浮设计决定着 U 型结构的尺寸,在抗浮设计中应合理考虑各种荷载的综合作用。此外,在计算浮力时,抗浮设计水位的确定尤为重要,应该根据地质勘察资料确定。

(5) 防止地下水渗入引起边坡塌方、承载力下降等问题,同时减少降水对周围环境与建筑物的影响,为有效地控制基坑地下水位,应同时采用管井降水和止水帷幕措施。

参考文献:

- [1] 丁兆锋,吴沛沛. U 型槽结构设计与分析[J]. 铁道工程学报, 2009, 26(4): 13-16.
- [2] 孟美丽,高海彬. 封闭式路堑 U 形槽结构的设计和计算[J]. 铁道建筑, 2011(8): 81-83.
- [3] 崔俊杰,宋绪国. 封闭式路堑设计及有关问题的探讨[J]. 铁道建筑技术, 2001(6): 20-23.
- [4] 吴剑锋,李季宏. U 型结构在铁路路堤地段的应用研究[J]. 铁道标准设计, 2013(9): 44-46.
- [5] 毛晓长,吴中海,李贵书,等. 泛亚铁路大理至瑞丽沿线地质构造综合研究主要进展和成果[J]. 中国地质调查, 2015, 2(4): 13-23.
- [6] 关凤璐. 天津地铁某地下站深基坑岩土工程勘察分析及评价[J]. 铁道标准设计, 2008(5): 97-100.
- [7] 谭红. 龙厦线封闭式路堑 U 型槽设计研究[J]. 铁道建筑技术, 2010(4): 19-22.
- [8] 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, 23(7): 49-53.
- [9] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50007—2011 建筑地基基础设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2012.
- [10] 马涛,邓帅. 封闭式路堑 U 形槽结构设计分析[J]. 铁道勘察, 2013, 39(1): 36-38.
- [11] 刘松玉. 土力学[M]. 4 版. 北京:中国建筑工业出版社, 2016.
- [12] 中国建筑科学研究院. GB 50010—2010 混凝土结构设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2011.
- [13] 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.
- [14] 王金艳. 北京轨道交通大兴线 U 形结构设计与施工技术[J]. 铁道标准设计, 2011(11): 34-39.
- [15] 令超,孙爱斌. 阜阳某 U 形槽结构的受力计算与抗浮设计[J]. 中外公路, 2013, 33(6): 185-188.
- [16] 乔玉荣. 某 U 形槽基坑工程地下水控制措施研究[J]. 铁道勘察, 2015, 41(1): 71-72, 80.

Design method of subway U-shaped structure in high groundwater level area

LI Wandu

(China Railway Design Corporation, Tianjin 300143, China)

Abstract: In order to solve engineering problems of high groundwater level or unable to reduce the groundwater level due to site restriction and some other special reasons, the author used the U-shaped structure to connect the underground tunnel with the ground subgrade. Based on the geological conditions and hydrogeological characteristics in the study area, and combined with domestic engineering examples, the author determined the U-shaped structure cross-section and calculation model of side wall and bottom board. Then the force and reinforcement were analyzed and calculated, the crack width and anti-floating stability were checked, and foundation pit enclosure and groundwater controlling measurements were selected. Cantilever beam was selected as the calculating model, and bottom board was selected as the elastic foundation beam. The reinforcements were calculated with the most unfavorable load combination. Meanwhile, the groundwater was controlled by tube well precipitation and waterproof curtain. The calculated and checked results could satisfy the design requirements, and engineering measurements are reasonable. This research could provide some reference and instruction for similar engineering design.

Key words: access line; U-shaped structure; groundwater level; elastic foundation beam; engineering geological condition

(责任编辑:刁淑娟)