



高水头承压水抗突涌优化设计

张建伟¹ 吴秉其²

1.上海建科工程咨询有限公司重庆分公司, 重庆 401121

2.无锡地铁集团有限公司, 江苏无锡 214000

[摘要] 城市轨道交通的建设和运营, 对提升城市公共交通供给质量和效率、缓解城市交通拥堵、引导优化城市空间结构布局、改善城市环境起到了重要作用。但城市轨道交通的建设基本是在城区, 周边建构筑物较多、地下管线复杂, 施工对沉降控制的要求较高, 以确保施工和既有建构筑物的安全。以某地铁车站为例, 通过优化高水头承压水抗突涌设计方案, 周边建筑物变形满足规范要求, 同时比常规方案降低工程造价约730万元, 具有明显的经济效益。

[关键词] 地铁车站; 高水头; 承压水; 优化设计

Abstract: The construction and operation of urban rail transit play an important role in improving the quality and efficiency of urban public transport supply, alleviating urban traffic congestion, guiding and optimizing the layout of urban spatial structure, and improving the urban environment. However, the construction of urban rail transit is basically in the urban area, with more buildings around and complicated underground pipelines. The construction requires higher settlement control to ensure the safety of construction and existing structures. Taking a subway station as an example, by optimizing the anti-inrush design scheme of high head confined water, the deformation of surrounding buildings meets the requirements of the code, and the cost of the project is reduced by about 7.3 million yuan compared with the conventional scheme, which has obvious economic benefits.

Keywords: Subway station; High head; confined water; optimum design

引言

城市轨道交通的建设和运营, 对提升城市公共交通供给质量和效率、缓解城市交通拥堵、引导优化城市空间结构布局、改善城市环境起到了重要作用。然而, 城市轨道交通建设基本上是在城市主城区, 这导致轨道交通必然要穿过密集建筑物区域, 且地下管线复杂, 这对地铁施工要求较高, 特别是地表沉降等应严格控制; 同时也应确保施工作业安全。^[1]

刘万鹏通过数值模拟、模型试验, 对承压水地层下嵌岩地下连续墙的施工过程的力学性能进行了研究; 张杰对杭州地区的古河道承压含水层特性、承压水渗流计算、潮汐对承压水地基突涌稳定的影响等方面进行了研究分析, 并以工程案例进行了验证分析。王景文等人对高水头承压水防渗帷幕注浆参数进行了研究, 并在工程中得以成功应用; 吴铁华通过研究分析得出考虑渗流作用求得的水位降深要小; 孙玉永对于承压水基坑抗突涌定量分析研究并提出了新的思路; 这些学者均从不同的角度研究分析了高水压承压水环境下的施工解决措施和方案。本文主要是对高水头承压水地铁车站抗突涌方案进行优化设计, 通过工程案例分析, 该优化方案不仅有效控制了工程的稳定, 还节约了费用。^[2]

1 工程概况

某地铁站为地下二层岛式站, 主要采用地下两层单柱双跨(局部双柱三跨或单跨)钢筋混凝土箱型框架结构。车站外包总长197m, 有效站台中心处车站基坑深度约15.83m, 覆土厚约3.0m。主要采用明挖法施工, 局部设置逆作顶板, 盖挖。车站周边用地以居住用地、医疗用地、商住混合用地为主, 环境相对复杂。且道路两侧及中间有大量市政地下管线, 埋深约1~5.0m。^[3]

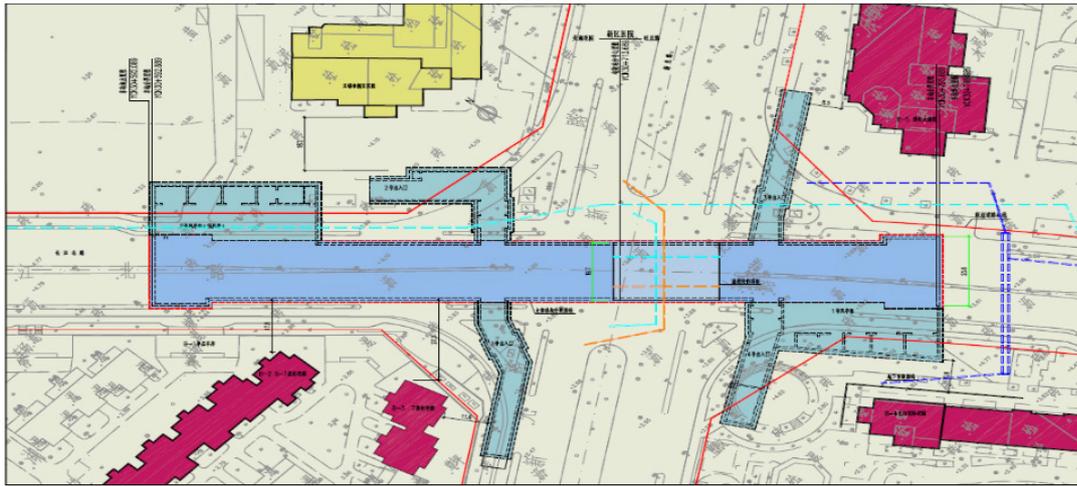


图1 车站总平面图

车站基坑开挖影响深度范围内的土层主要包括：①₁杂填土、③₁粘土、③₂粉质粘土、④₁粘质粉土、④₂粘质粉土夹粉砂、⑤₁粉质粘土、⑥₁粘土、⑥₂粉质粘土、⑥₃粉砂夹粉土、⑦₁粉质粘土、⑦₂粉砂夹粉土。基底落在⑥₁粘土层。根据土层渗透性指标，车站含水层划分为潜水（二）层，主要为①₁杂填土；微承压水（三）₁层，④₁粘质粉土和④₂粘质粉土夹粉砂；第I承压水（三）₂层，主要为⑥₃粉砂夹粉土和⑦₂粉砂夹粉土。^[4]

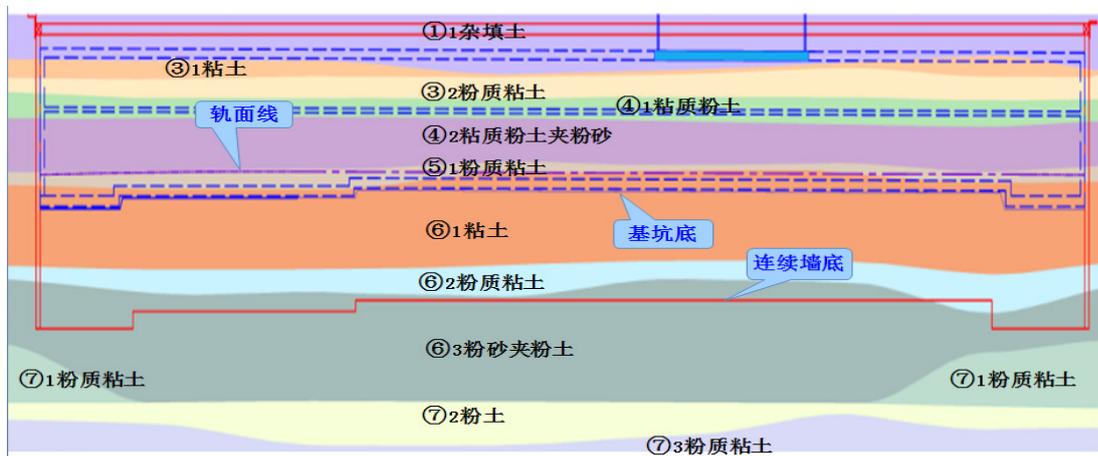
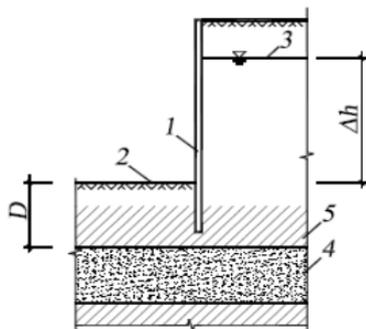


图2 车站地质纵断面图

2 车站承压水突涌验算

根据本站水文地质，对车站影响较大的承压水层主要为第I承压水（三）₂层，第I承压水（三）₂主要赋存于深部的砂性土层中⑥₃粉砂夹粉土、⑦₂粉砂夹粉土，赋水性中等，具有相对较好的封闭条件。隔水顶板为⑥₁粘土、⑥₂粉质粘土、隔水底板为⑦₁粉质粘土、⑦₃粉质粘土、⑧₁粉质粘土。其补给来源为其上部松散层渗入补给、微承压水与之联通补给、越流补给及地下迳流补给，其排泄方式主要是人工开采，其次是对下部含水层的越流补给及侧向迳流排泄。第I承压水（三）₂，水位标高在-1.06m左右（水位埋深5.82m左右，2013.12.28测量），水位标高在-0.83m左右（水位埋深5.59m左右，2014.5.19测量）。承压水突涌按最高水头-0.83m验算。^[5]



计算简图

承压水稳定性验算公式：

$$\frac{D\gamma}{h_w\gamma_w} \geq K_h \quad (\text{需满足 } K_h \geq 1.1)$$

式中 K_h —突涌稳定安全系数, K_h 不应小于 1.1。

D —承压水含水层顶面至坑底的土层厚度 (kN/m^2)；

γ —承压水含水层顶面至坑底土层的天然重度 (kN/m^3)；对多层土, 取按土层厚度加权的平均天然重度；

h_w —承压水含水层顶面的压力水头高度 (kN/m^3)；

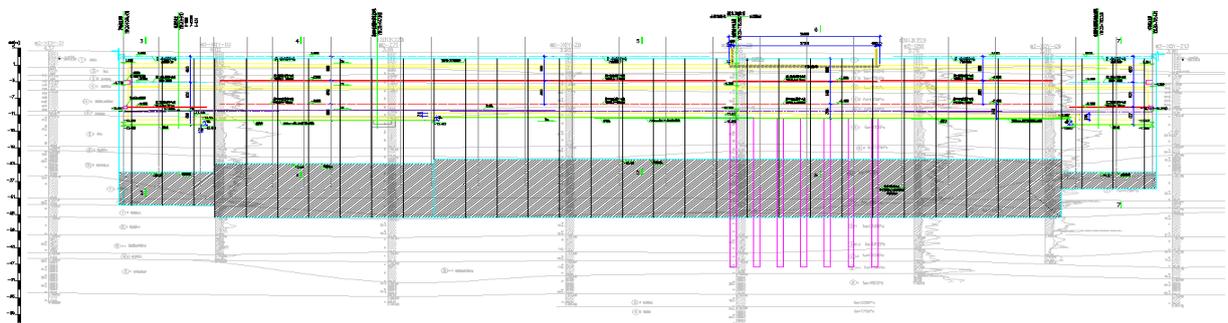
γ_w —水的重度

计算结果如下表所示

| 序号 | 位置 | K_h | 稳定性判定 |
|----|----------|-------|--------------|
| 1 | 小里程端盾构井段 | 0.64 | 小于1.1, 不满足要求 |
| 2 | 变电所下沉段 | 0.82 | 小于1.1, 不满足要求 |
| 3 | 标准段 | 0.82 | 小于1.1, 不满足要求 |
| 4 | 大里程端盾构井段 | 0.70 | 小于1.1, 不满足要求 |

3 原车站方案设计

车站大小里程端盾构井段需降承压水水头大于 7m, 标准段需降承压水水头也大于 5m, 高水头承压水降水对周边环境影响风险较大, 目前无锡地铁针对这种高水头承压水抗突涌不满足要求情况的处理方式通常是截水, 即加深地连墙。^[6]



地连墙加深设计方案图

对应计算各断面的地墙加深长度和工程量如下表所示。

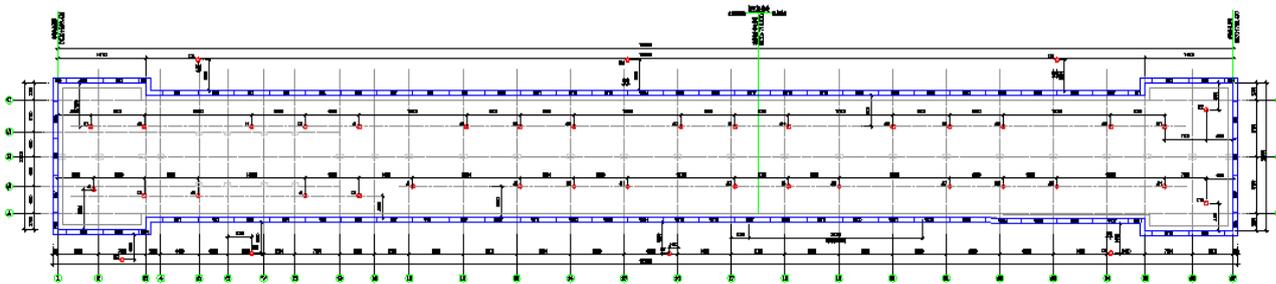
| 位置 项目 | 小里程端 盾构井段 | 变电所下沉段 | 标准段 | 大里程端 盾构井段 |
|--------------|-------------------------------------------------------------------|--------|------|--------------|
| 计算抗突涌安全系数 | 0.64 | 0.82 | 0.82 | 0.70 |
| 需增加地连墙长度 (m) | 8 | 13 | 14 | 4 |
| 工程量 | 422.4 | 874.5 | 2688 | 205.1 |
| 合计 | 需增加地墙约4190m ³ , 按综合单价2060元/ m ³ , 增加造价约863万 | | | |

与其他标准站相比, 该地墙隔水方案将地连墙平均加深约 10m, 需增加费用 863 万。

5 优化方案及安全性验算

5.1 优化方案

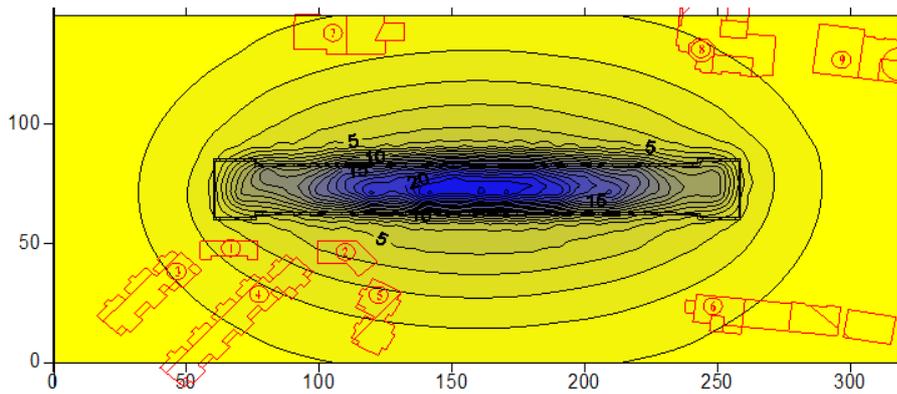
目前地铁针对高水头承压水抗突涌不满足要求情况的处理方式通常是截水。该车站盾构井段需降承压水水头大于 7m, 标准段需降承压水水头也大于 5m, 高水头承压水降水对周边环境影响风险较大, 但考虑到新区医院站距离车站最近的太湖花园小区 6~7 层浅基础建筑物约 17.8m, 已大于一倍基坑深度, 初步认为本站采用降水方案解决车站基底抗突涌问题, 理论上存在可行性。^[7]



车站降水方案图

5.2 安全性分析

采用降水方案, 主要需解决降水对周边环境的影响问题。梳理周边建筑物, 并结合降水专项设计, 计算由降水引起地面沉降量如图所示。



降水引起的地面沉降等值线图 (沉降量单位: mm)

建筑物变形量计算结果

| 建筑物 | 平均沉降量(mm) | 差异沉降量(mm) | 倾角 |
|------|-----------|-----------|---------|
| 建筑物① | 2.3 | 1.5 | 1/15267 |
| 建筑物② | 4 | 1.3 | 1/11000 |
| 建筑物④ | 1.5 | 3.1 | 1/22129 |
| 建筑物 | 2.3 | 1.8 | 1/18055 |

从计算结果可见, 图中计算范围内的所有建筑物的沉降或差异沉降均小于 5mm, 满足建筑物累计沉降量小于 10mm, 倾角小于 2/1000 的容许变形要求。

5.3 控制风险措施与建议

考虑到降水方案风险虽可控, 但相对较大, 故提出具体相关风险措施建议, 具体如下:

- 1) 根据分析结果, 车站布设降承压水井及降承压水观测井。要求当基坑开挖至 -8.00m 时, 开始降承压水, 按需降水。^[8]
- 2) 为观测减压降水对环境的影响, 应在基坑外侧布置一定数量的承压水观测兼备用井, 基坑长边每侧不宜少于 3 个, 以观测减压降水对周边环境的影响, 可做坑外辅助降水或坑外回灌降水井使用, 施工期间根据监测情况及时采取回灌措施。
- 3) 施工前需开展抽水试验, 取得设计参数, 确定降水井布置范围及数量; 做好施工应急预案, 并组织降水方案专项评审。

5.4 降水方案工程量及造价

各断面需降承压水水头和主要工程量如下。

| 位置 项目 | 小里程端 盾构井段 | 变电所下沉段 | 标准段 | 大里程端 盾构井段 |
|-------------|------------------------------------------------------|--------|------|--------------|
| 计算抗突涌安全系数 | 0.64 | 0.82 | 0.82 | 0.70 |
| 需降承压水水头 (m) | 7.9 | 5.2 | 4.9 | 7.2 |
| 工程量合计 | 需多布设 16 口降压井 (含观测井), 按综合单价单口井 7.8 万计算, 增加造价约 124.8 万 | | | |

六 结论

- (1) 车站高水头承压水抗突涌采用降水优化设计方案, 周边建筑物变形满足规范要求, 风险可控。
- (2) 采用降水优化设计方案, 比通常采用的加深地连墙隔水方案降低工程造价约 730 万元, 具有明显的经济效益。
- (4) 在高水头承压水首次采用降水设计, 对今后类似的工程有一定的指导和借鉴意义。

[参考文献]

- [1] 刘万鹏. 承压水地层中嵌岩地下连续墙施工全过程受力特性分析 [J]. 重庆大学, 2016.
- [2] 张杰. 杭州承压水地基深基坑降压关键技术及环境效应研究 [D]. 浙江大学, 2012.
- [3] 王文景, 李琦, 李国平, 吕能功. 高水头承压水防渗帷幕在姑山采场的应用 [A]. 第八届全国采矿学术会议论文集 [C]. 2009:5.
- [4] 吴铁华. 考虑渗流作用的基坑抗突涌验算与降深设计 [J]. 土工基础, 2011, 25(06):44-48.
- [5] 孙王永. 承压水基坑抗突涌定量分析的复杂性和新思路 [J]. 铜陵学院学报, 2012, 11(02):100-103.
- [6] 孙王永, 周顺华, 肖红菊. 承压水基坑抗突涌稳定判定方法研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2012, 31(02):399-405.
- [7] 宫全美, 丁春林, 许恺, 周顺华. 抗突涌安全系数对地铁车站基坑变形的影响 [J]. 地下空间与工程学报, 2005(05):768-772.
- [8] 潘泓, 曹洪, 谭泽新, 尹小玲. 基坑抗突涌计算方法的对比分析及应用探讨 [J]. 岩石力学与工程学报, 2006(S2):3529-3534.

作者简介: 张建伟 (1986-), 男, 硕士研究生学历, 工程师, 主要从事装配式建筑、地下工程方面的研究工作。