

中华西路站地铁区间隧道装配式管片结构优化设计

土木2102班：蔡益诚 指导教师：段诗雨 论文类型：毕业设计

摘要：本设计采用基于理正软件计算、Midas 有限元分析和 Matlab 编程优化的综合研究方法，探讨了不同级别围岩条件下隧道衬砌的设计与优化问题。通过分析隧道所处地质环境特征，确定各围岩级别对应的衬砌厚度初始设计值，借助理正软件进行衬砌洞型截面比选，确定圆形为最优方案。利用 Midas 软件建立不同级别衬砌的有限元模型，计算其位移、弯矩和轴力等结构响应，并据此完成衬砌配筋设计。借助 Matlab 对衬砌厚度进行优化设计，并通过理正软件进行验算，结果表明优化后的各级围岩衬砌厚度均满足国家规范标准，为隧道衬砌设计提供了科学的理论依据和有效的优化方案。

关键词：西安地铁；理正选型；Midas计算；配筋计算；Matlab衬砌优化

1 研究背景

在地铁隧道工程建设中，中华西路站区域的土地水文背景对设计与施工影响深远。其地层为多层结构，受地质构造影响，岩土参数关乎基础设计与防水工程；该区域地下水含潜水与承压水，水位季节性波动、水质复杂，影响工程安全与设施寿命。同时，隧道衬砌设计需明确圆形、矩形、圆拱直墙形等不同洞型的几何参数，III级、IV级、V级围岩的荷载组合及选用的混凝土（C45）、纵筋（HRB400）、箍筋（HPB335）的材料参数。设计过程遵循严格标准，确保主要构件百年寿命，综合考量地质水文、周边环境等因素选择结构形式，严控施工的平衡稳定性、环保及功能需求，以保障工程安全、耐久与环境良好。

2 发展现状

随着中国交通事业发展，地铁隧道工程对城市空间规划、区域经济发展及绿色环保意义重大。现阶段，国内外地铁隧道结构设计正朝着精细化方向发展，有限元分析、新型管片连接结构及高性能混凝土应用等成果显著。以西安地铁为例，装配式管片结构从初期探索到广泛应用，技术不断成熟完善。本次研究通过有限元分析等手段，精确确定弯矩、剪力等数据值，优化衬砌结构，在理论上可精准模拟应力应变分布，避免材料浪费；在实践中，既是对专业知识与实践能力的检验，也有助于掌握先进数值模拟技术，深入学习工程规范，提升专业素养，为地铁隧道工程设计与建设提供科学依据与实践经验。

3 相关分析

3.1 理正选型

通过计算得出：拱顶竖直自重应力为 442.76KN·m、拱侧竖直自重应力为 521.36KN·m、拱底竖直自重应力为 599.96KN·m、拱顶竖直自重应力为 178.13KN·m、拱底竖直自重应力为 259.12KN·m。

无衬砌支护理正验算简图，见图 3.1：

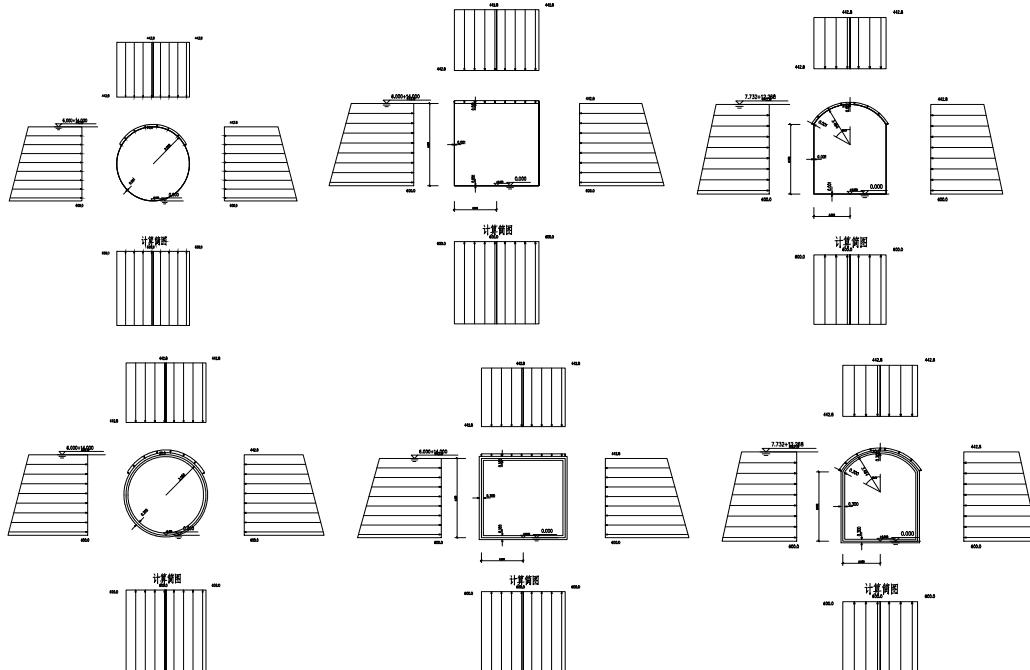


图 3.1 圆形、矩形、圆拱直墙形围岩隧道有、无衬砌计算简图

结论：经过计算结果显示，在无衬砌支护下无论是圆形、矩形还是圆拱直墙形的土体都无法满足工程结构的需求，因此本设计需进行衬砌支护。

衬砌支护变形图见图 3.2：

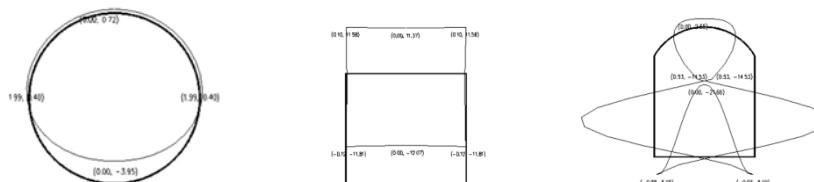


图 3.2 不同衬砌形状变形图

结论：衬砌支护下，分别对三个洞型进行了变形计算，其中圆形截面的变形量最小为-3.95cm，因此在本次毕业设计中将采用圆形截面的衬砌进行支护设计优化。

3.2 各级围岩设计及配筋（Midas有限元分析）

各级衬砌计算结果图，见图 3.3-图 3.8：

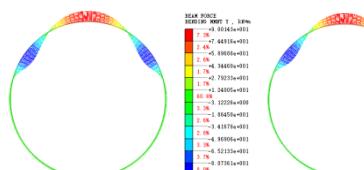


图 3.3 III 级弯矩图 (LCB1、LCB2)

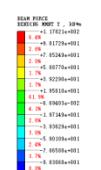


图 3.4 III 级轴力图 (LCB1、LCB2)



图 3.5 IV 级弯矩图 (LCB1、LCB2)



图 3.6 IV 级轴力图 (LCB1、LCB2)



图 3.7 V 级弯矩图 (LCB1、LCB2)

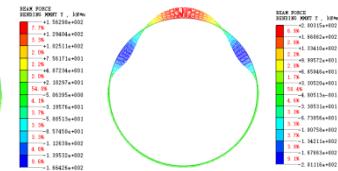


图 3.8 V 级轴力图 (LCB1、LCB2)

配筋计算结果见表 3.1:

表 3.1 各级围岩衬砌参数及配筋结果

名称	III 级衬砌围岩	IV 级衬砌围岩	V 级衬砌围岩
混凝土	C45	C45	C45
弹性模量	33500MPa	33500MPa	33500MPa
泊松比	0.2	0.2	0.2
容重	24kg/m ³	24kg/m ³	24kg/m ³
计算最大正弯矩	158300N·m	116600N·m	199300N·m
轴力 (正)	1450000N	1512000N	1397000N
计算最大负弯矩	-118000N·m	-159500N·m	-201100N·m
轴力 (负)	2103000N	2122000N	2148000N
配筋结果	4Φ14	4Φ16	5Φ16

3.3 围岩衬砌优化 (MATLAB)

MATLAB 衬砌优化代码的运行结果见图 3.9:

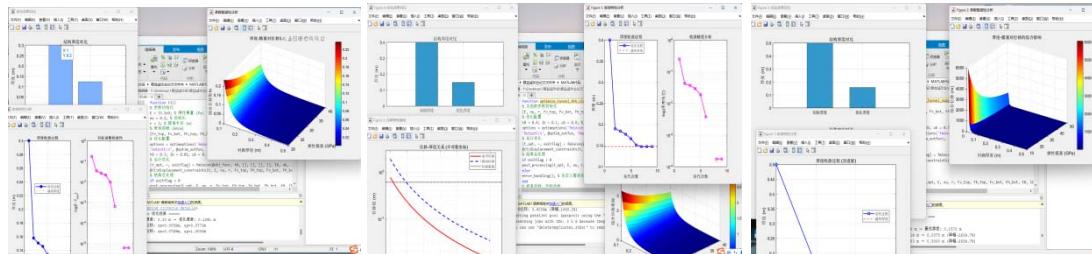


图 3.9 各级围岩衬砌优化代码运行结果图

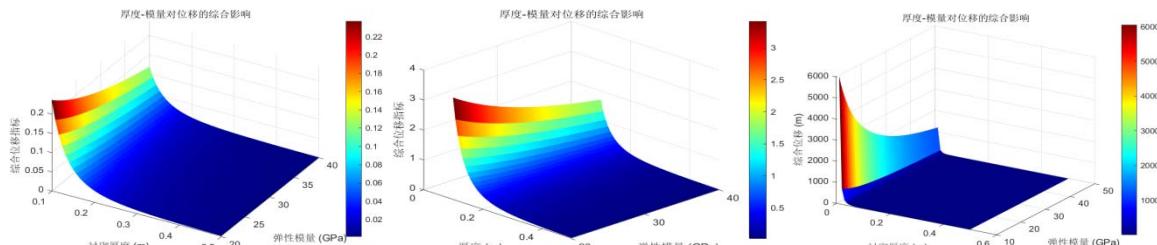


图 3.10 各级围岩衬砌优化代码运行详图

衬砌优化代码运行见图 3.10，结果表明 III 级、IV 级、V 级围岩条件下的衬砌优化厚度分别为 0.1241m、0.1477m，0.1572m，经理正软件验算，各项指标均满足规范要求，有效验证了优化结果的可靠性与工程适用性。

4 研究结论及对策建议

4.1 研究结论

本设计可分为 4 部分。第一部分：对本次毕业设计地区进行土质、水文地质特征进行勘察，了解该地区的土质情况；第二部分：分别对圆形、矩形、圆拱直墙形衬砌截面进行选型，通过理正软件分别对无支护围岩衬砌和有支护围岩衬砌进行计算，根据计算结果显示，无支护围岩衬砌无法满足工程要求，而有支护围岩衬砌满足工程要求，且圆形衬砌截面变形最小，则设计选型为圆形；第三部分：利用 midas 有限元软件分别对 III 级衬砌围岩、IV 级衬砌围岩和 V 级衬砌围岩进行位移、轴力、剪力、弯矩等分析，通过分析结果分别对三组设计进行配筋计算，最终 III 级衬砌围岩配筋 $4\Phi 14$ 、IV 级衬砌围岩 $4\Phi 16$ 和 V 级衬砌围岩 $5\Phi 16$ ；第四部分，分别对三组设计的衬砌厚度进行优化，通过 MATLAB 的 SQP（序列二次规划）算法进行衬砌优化分析，最终 III 级（优化厚度：0.1241m）、IV 级（优化厚度：0.1477m）和 V 级（优化厚度：0.1572m），为了设计的可靠性，还对优化后的衬砌厚度进行理正验算，经过理正验算，各级围岩优化后的衬砌厚度均满足国家技术标准，因此本次衬砌优化设计成立。

4.2 对策建议

在完成隧道衬砌厚度优化后，并未对配筋进行优化。配筋优化可按下列步骤进行：首先建立数学模型，确定设计变量（钢筋直径、间距、层数等）、目标函数（如最小化成本）及约束条件（承载力、裂缝宽度等）。此外，扩展现有优化框架，调整变量范围，更新约束条件，纳入钢筋规范要求，并扩展有限元模型考虑材料非线性与协同工作。针对钢筋直径等离散变量，采用离散优化算法或处理连续结果，并进行结构性能验证，包括承载力、裂缝、变形及耐久性评估。可采用多目标优化与 Pareto 分析平衡成本与安全性。考虑施工可行性约束，通过敏感性分析确定关键参数，确保结果符合相关规范。最后在现有 SQP 代码基础上扩展功能，实现厚度与配筋的协同优化。