

学校编码: 10384
学 号: 25320141151787

分类号 _____ 密级 _____
UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

地铁车站顶板施工阶段开裂分析及“跳仓法”应用

Cracking Analysis of Roof in Subway Station

Under Construction and Application of

“Alternative Bay Construction Method”

陈坤泉

指导教师姓名: 林树枝教授

张建霖教授

专业名称: 建筑与土木工程

论文提交日期: 2017年4月

论文答辩时间: 2017年5月

学位授予日期: 2017年6月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2017年5月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

摘要

改革开放以来,我国地铁建设事业获得迅猛发展。地铁建设过程中经常出现车站主体结构开裂问题,特别是在顶板位置。一般情况下,地铁车站结构顶板长度可达 150m 以上,厚度为 500~1000mm,为超长大体积混凝土板,且其受到侧墙、框架柱及周边土体等的约束较大。在施工过程中,顶板结构在温度和收缩共同作用下容易产生开裂问题。

本文以厦门地铁二号线“新阳大道站”结构顶板“跳仓法”施工为工程背景,分析了地铁车站结构顶板在不同工况条件下的温度场及应力状态特征,进而判断结构是否存在开裂风险。文章内容主要包括:

1.通过收集地铁车站顶板裂缝资料,进行顶板裂缝特征分析。通过分析,初步得到地铁车站顶板开裂的原因:温度和收缩。

2.结合地铁车站主体结构施工方法,运用有限元分析软件 ANSYS,进行:

(1)地铁车站结构顶板混凝土凝结硬化过程中的温度场模拟。模拟结果表明:地铁车站结构顶板凝结硬化过程中,结构内部最高温度可达 50℃,最大里表温差可达 18℃,且采用不同施工方法的温度场略有不同。

(2)地铁车站结构顶板混凝土凝结硬化过程中的应力场分析。分析结果表明:①在施工阶段前期,水化热里表温差造成的结构温度应力可达 1.1MPa(3d 龄期)。虽然,此时安全系数可达 1.4 左右,大于 1.15,但是富余量不足,结构表面有开裂可能。②在施工阶段中后期,温差和收缩等共同作用下的结构局部应力较大,最大值达到 2.36MPa,安全系数仅有 0.96 左右,小于 1.15,且这些区域集中在:顶板与侧墙的交接处、顶板与纵梁的交接处及纵梁与框架柱交接处,上述区域混凝土易开裂。

3.通过理论分析和结构数值模拟,研究了应用“跳仓法”在地铁车站顶板施工中的技术要点。分析结果表明:(1)合理“分仓缝”间距取:20~30m;(2)相邻仓段的合理浇筑时间差取:6~9d;(3)“分仓缝”应采用刚性防水等。

关键词: 地铁车站顶板; 裂缝; 有限元; “跳仓法”

ABSTRACT

Since 1980s, great changes have taken place in the development of China's subway construction. Cracking problems of main structure can be seen frequently during the construction of subways, especially in the roof of subway station. Under normal circumstances, the length of roof in subway station structure can reach more than 150m, and the thickness is generally range 500mm to 1000mm. So it can be attributed to "The Super-length Mass Concrete Slab". On the other hand, it is subjected to greater constraints from its side walls, frame columns and surrounding soil. During the construction of subway stations, cracking problems occur easily for the influences of temperature and the shrinkage of concrete.

This paper takes "Xinyang Avenue Station" of Xiamen Metro Line 2 as an example, and analyzes the characteristics of the temperature field and stress state under different conditions. And then we can determine whether it will crack or not. The main contents of the paper include:

1. Analyzing the roof crack characteristics by collecting the cracking data of the roof slab in subway stations. As a result, we can get the initial reasons of cracking in subway station roof: temperature and the shrinking of concrete.

2. Combined with the method of the main structure construction in the subway station, as well as the help of the finite element analysis software "ANSYS", we can:

- (1) Simulate the temperature field during concrete hardening of the roof slab in subway stations. The results show that: the maximum temperature inside the structure can be up to 50°C, the maximum temperature difference is up to 18°C, and the temperature field distribution of the subway station structure is slightly different.

- (2) Analyze the stress field during concrete hardening of the roof slab in subway stations. The results show that: 1) At the early stage of construction, the structural temperature stress caused by the thermal difference of hydration heat reaches 1.1MPa (3d age). Although the safety factor at this moment is up to 1.4, which is greater than

1.15. In case of the lack of margin, structural surface may crack. 2) The internal stress of the structure under the combined action of temperature difference and shrinkage in the later stage of construction reaches 2.36MPa. The safety factor is about 0.96 at that moment, which is less than 1.15. And these dangerous areas are concentrated in the junction of the roof and the side wall, and the junction of the roof. Therefore, it will crack easily.

3. With the method of theoretical analysis and structural modeling simulation, this paper explores the technical points of the application of "Alternative Bay Construction Method" in the construction of subway station main structure. The results show that: 1) Reasonable "Length of alternative bay" should be 20~30m; 2) The difference of reasonable pouring time between two adjacent warehouse should be 6~9d; 3) "Sub-warehouse seam" should be used rigid waterproof.

Key Words: Roof of Subway Station; Crack; The Finite Element; "Alternative Bay Construction Method"

目录

第一章 绪论	- 1 -
1.1 研究背景及意义	- 1 -
1.1.1 研究背景	- 1 -
1.1.2 研究意义	- 2 -
1.2 本文相关概念	- 2 -
1.2.1“跳仓法”.....	- 2 -
1.2.2 地铁车站施工方法	- 3 -
1.3 国内外研究动态	- 4 -
1.3.1 混凝土开裂研究现状	- 4 -
1.3.2 混凝土有限元分析	- 6 -
1.3.3 地铁车站开裂研究	- 9 -
1.4 本文主要工作	- 11 -
1.4.1 主要内容及创新点	- 11 -
1.4.2 研究方法	- 12 -
第二章 地铁车站顶板裂缝检测资料分析	- 14 -
2.1 引言	- 14 -
2.2 不同施工阶段车站顶板开裂特征分析	- 14 -
2.2.1 施工阶段前期车站顶板开裂特征分析	- 14 -
2.2.2 施工阶段中后期车站顶板开裂特征分析	- 16 -
2.3 车站顶板裂缝特征分析	- 18 -
2.3.1 顶板裂缝主要特征	- 18 -
2.3.2 裂缝特征统计分析	- 19 -
2.4 车站顶板不同开裂特征原因分析	- 21 -
2.4.1 裂缝呈横向或斜向 45°原因分析.....	- 21 -
2.4.2 不同裂缝分布特征对应开裂原因分析	- 23 -
2.5 本章小结	- 24 -

第三章 地铁车站顶板温度场有限元分析	26 -
3.1 引言	26 -
3.2 ANSYS 热分析理论介绍	26 -
3.2.1 热分析基本理论.....	26 -
3.2.2 ANSYS 热分析控制微分方程.....	28 -
3.2.3 控制微分方程与导热微分方程的统一.....	29 -
3.3 ANSYS 热分析流程介绍	29 -
3.3.1 前处理阶段.....	29 -
3.3.2 求解阶段.....	32 -
3.3.3 后处理.....	33 -
3.4 算例	33 -
3.4.1 工程概况.....	33 -
3.4.2 建模过程.....	34 -
3.4.3 热分析结果.....	35 -
3.5 地铁车站结构顶板热分析	38 -
3.5.1 工程概况.....	38 -
3.5.2 不同施工条件下的车站顶板结构热分析.....	39 -
3.5.3 热分析结果综合讨论.....	48 -
3.6 本章小结	50 -
第四章 地铁车站顶板应力计算及应力场有限元分析	51 -
4.1 引言	51 -
4.2 车站顶板混凝土开裂验算	51 -
4.2.1 大体积混凝土开裂验算理论.....	51 -
4.2.2“新阳大道站”车站顶板开裂验算.....	54 -
4.3 地铁车站顶板 ANSYS 应力场分析模型	58 -
4.3.1 工程概况.....	58 -
4.3.2 模型的建立.....	59 -
4.3.3 荷载工况的考虑.....	60 -

4.4 结构线弹性分析	63 -
4.4.1 模型的建立	63 -
4.4.2 结构线弹性分析结果	64 -
4.4.3 结构线弹性分析结果讨论	67 -
4.5 结构非线性分析	68 -
4.5.1 建模分析概况	69 -
4.5.2 结构非线性分析结果	70 -
4.5.3 结构非线性分析结果讨论	72 -
4.6 本章小结	73 -
第五章 地铁车站顶板“跳仓法”施工研究	76 -
5.1 引言	76 -
5.2 “分仓缝”合理间距探索	76 -
5.2.1 不同“分仓缝”间距条件下温度应力有限元分析	76 -
5.2.2 “分仓缝”间距的理论计算	77 -
5.3 相邻仓段的合理浇筑时间差探索	79 -
5.3.1 相邻仓段浇筑时间差的考虑因素	79 -
5.3.2 相邻仓段浇筑时间差的有限元分析	79 -
5.4 地铁车站顶板“跳仓法”施工的构造措施与技术要求	82 -
5.4.1 “分仓缝”处的构造处理	82 -
5.4.2 地铁车站顶板“跳仓法”施工对材料的要求	83 -
5.4.3 地铁车站顶板“跳仓法”施工对设计及施工的要求	83 -
5.5 本章小结	84 -
第六章 结论与展望	85 -
6.1 结论	85 -
6.2 不足与展望	86 -
参考文献	88 -
致谢	88 -

CONTENTS

Chapter1 Preface	- 1 -
1.1 Research background and significance	- 1 -
1.1.1 Research background.....	- 1 -
1.1.2 Research significance	- 2 -
1.2 Related concepts	- 2 -
1.2.1 “Alternative Bay Construction Method”	- 2 -
1.2.2 Construction method of subway station	- 3 -
1.3 Research dynamics	- 4 -
1.3.1 Research Status of Concrete Cracking	- 4 -
1.3.2 The finite element analysis of concrete.....	- 6 -
1.3.3 Study on Cracking of Subway Station.....	- 9 -
1.4 Main work of this paper	- 11 -
1.4.1 The main content and innovation	- 11 -
1.4.2 Introduction to research methods.....	- 12 -
Chapter2 Analysis of Roof Cracking in Subway Station	- 14 -
2.1 Preface	- 14 -
2.2 Analysis on Roof Cracking Characteristics of Station in Different Construction Stage	- 14 -
2.2.1 Analysis on Roof Cracking Characteristics of Station in the Early Stage of Construction	- 14 -
2.2.2 Analysis on Roof Cracking Characteristics of Station in the Latter Stage of Construction	- 16 -
2.3 Analysis on Characteristics of Roof Cracks in Station	- 18 -
2.3.1 Characteristics of Roof Cracks in Station.....	- 18 -
2.3.2 Statistical Analysis of Roof Cracks Characteristics in Station.....	- 19 -
2.4 Cause Analysis of Different Cracking Characteristics of Station Roof .	- 21 -
2.4.1 Cause Analysis of Cracks in horizontally or obliquely at 45°	- 21 -

2.4.2 Cause Analysis of Corresponding Cracking of Different Crack Distribution	- 23 -
2.5 Chapter summary	- 24 -
Chapter3 Temperature Field Finite Element Analysis of Subway Station Roof	- 26 -
3.1 Preface	- 26 -
3.2 Introduction to ANSYS Thermal Analysis Theory	- 26 -
3.2.1 Basic theory of thermal analysis.....	- 26 -
3.2.2 ANSYS thermal analysis controlling differential equation.....	- 28 -
3.2.3 Unification of Differential Equations and Differential Differential Equations	- 29 -
3.3 Introduction to ANSYS thermal analysis process.....	- 29 -
3.3.1 Pre-processing stage	- 29 -
3.3.2 Solving stage.....	- 32 -
3.3.3 Post-processing stage.....	- 33 -
3.4 Example.....	- 33 -
3.4.1 Project overview	- 33 -
3.4.2 Modeling process.....	- 34 -
3.4.3 Thermal analysis results	- 35 -
3.5 Thermal Analysis of Subway Station Structure Roof.....	- 38 -
3.5.1 Project overview	- 38 -
3.5.2 Thermal Analysis of Roof Structure of Station under Different Construction Conditions	- 39 -
3.5.3 Thermal analysis of the results of a comprehensive discussion	- 48 -
3.6 Chapter summary	- 50 -
Chapter4 Stress Calculation and Stress Field Finite Element Analysis of Subway Station Roof	- 51 -
4.1Preface.....	- 51 -
4.2 Calculation of Thermal Stress of Roof Concrete in Station.....	- 51 -
4.2.1 Calculation theory of thermal stress of mass concrete	- 51 -

4.2.2 Check of "Xinyang Avenue Station" station roof cracking.....	- 54 -
4.3 Analysis Model of ANSYS Stress Field in Subway Station Roof.....	- 59 -
4.3.1 Project Overview	- 59 -
4.3.2 The establishment of the model.....	- 59 -
4.3.3 Consideration of load conditions	- 61 -
4.4 Structural elasticity analysis	- 63 -
4.4.1 The establishment of the model.....	- 63 -
4.4.2 Solution.....	- 64 -
4.4.3 Discussion on the solution.....	- 67 -
4.5 Structural nonlinear analysis	- 69 -
4.5.1 Modeling analysis overview	- 69 -
4.5.2 Solution.....	- 70 -
4.5.3 Discussion on the solution.....	- 73 -
4.6 Chapter summary	- 74 -
Chapter5 Research on Construction of " Alternative Bay Construction Method " in Subway Station Roof.....	- 76 -
5.1 Preface.....	- 76 -
5.2 Exploration on the resonable distance of "Sub-seam"	- 76 -
5.2.1 Finite element analysis on the resonable distance of "Sub-seam"..	- 76 -
5.2.2 Theoretical calculation on the resonable distance of "Sub-seam"..	- 77 -
5.3 Exploration on the reasonable pouring time of adjacent silos.....	- 79 -
5.3.1 Considerations on the reasonable pouring time of adjacent silos....	- 79 -
5.3.2 Finite element analysis on the reasonable pouring time of adjacent silos	- 80 -
5.4 Construction measures and technical requirements of Construction of " Alternative Bay Construction Method " in Roof of Metro Station	- 82 -
5.4.1 Construction measures in "Sub-seam"	- 82 -
5.4.2 Requirements for materials.....	- 83 -
5.4.3 Requirements for design and construction	- 83 -
5.5 Chapter summary	- 84 -

Chapter6 Conclusion and issues for further study	- 85 -
6.1 Conclusion of this paper	- 85 -
6.2 Issues for further study	- 86 -
Referance	- 88 -
Acknowledgments	- 92 -

厦门大学博硕士学位论文摘要库

第一章 绪论

1.1 研究背景及意义

1.1.1 研究背景

近年来，随着我国城镇化进程中城市人口的不断增加，城市交通压力与日俱增，传统的交通方式已经难以满足日益增长的城市交通需求。而城市地铁以其运力强大、准时便捷，且不占用地上空间等优点受到众多大城市的青睐。因此，我国的地铁建设迎来了一个发展的高峰期。

北京是国内第一个建成地铁的城市，也是目前国内地铁运营线路最多的一个城市。其中，北京地铁一号线于 1965 年开始建设，1969 年国庆节竣工通车^[1]。据统计，截止 2016 年年底，北京地铁共有 19 条运营线路，运营线路总长达 574 千米。继北京之后，国内目前已开通地铁的城市超过 30 个，包括：上海、广州、深圳、香港、台北等，地铁运行总里程已超过 3500 千米。此外，目前我国还有超过 15 个正在建设首条地铁线路或者计划建设地铁的城市，地铁建设处在高速发展阶段^[2]。地铁在我国城市交通中占据越来越重要的角色，在可预期的几十年内，将成为许多城市最重要的出行方式。

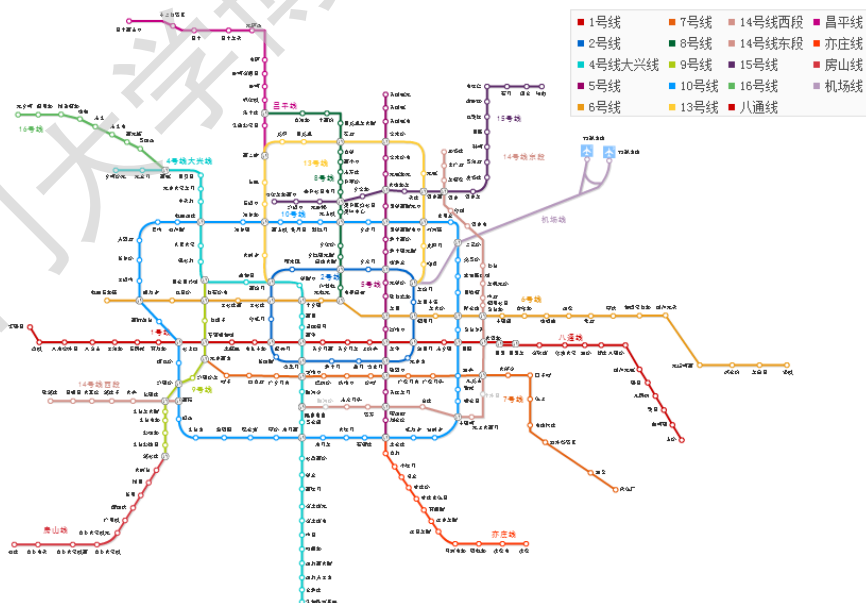


图 1-1：北京地铁线路图

根据资料显示^[3]，许多已建成或者在建地铁项目，主体结构都存在开裂问题，特别是地铁车站结构顶板、侧墙、底板等位置。而地铁车站顶板是地铁车站的“屋顶”，是具有防水要求

的重要构件，其开裂将带来以下危害：

- (1) 当裂缝是贯穿性裂缝时，容易使结构出现渗水，建设期间影响施工，使用期间影响地铁的正常运营。
- (2) 结构出现裂缝时，会造成结构观感降低，给人不安全感。
- (3) 结构裂缝容易造成结构内部钢筋锈蚀，使结构损坏，危及结构安全，降低正常使用寿命。
- (4) 裂缝将降低结构刚度，形变增大，降低结构安全系数。

1.1.2 研究意义

城市地铁是大型的公共设施，影响重大，且车站主体结构开裂后处理麻烦、费用高昂。因此，有必要对地铁车站结构顶板的开裂机理进行研究，分析其开裂原因，并探讨地铁车站结构顶板裂缝控制的方法。研究结果可以为类似的地铁车站工程的设计、施工提供借鉴，在设计、施工阶段就避免车站顶板结构有害裂缝的产生，为地铁车站的安全、正常、有序运营提供保障。

1.2 本文相关概念

1.2.1 “跳仓法”

“跳仓法”是一种大体积混凝土无缝施工技术^[6]。“跳仓法”建议取消“后浇带”和永久变形缝，早期通过间隔施工，释放部分由于混凝土温度应力和收缩产生的变形；后期通过混凝土自身强度抵抗混凝土温度与收缩应力^[7]。其具体做法是：合理设置水平施工缝，将超长混凝土块体分为若干区域，隔段浇筑，以此避免混凝土凝结硬化过程中可能出现的较大温差及干缩作用，完成早期“跳仓”施工。待先浇筑的混凝土释放掉部分早期的温度应力及收缩效应后，再将未浇筑段浇筑连成一个整体，完成后期的“封仓”施工。

在超长大体积混凝土施工中，“跳仓法”综合技术已成功被许多工程所应用，并取得良好的裂缝控制效果^[8]。王铁梦教授通过实践总结，得到：地下环境的大体积混凝土结构的温湿度变化小，混凝土收缩变形也较小，适宜“跳仓法”的应用^[7]。

1.2.2 地铁车站施工方法

地铁车站常见的施工方法包括：明挖法、盖挖法、暗挖法^[10]。

1.明挖法

明挖法施工是按照施工组织设计分段分层依次开挖，直至达到结构设计高程，然后在开挖的基坑中由下而上顺序进行主体结构的施工及防水作业等，最后回填土、恢复地面的方法^[10]。明挖法是地铁车站施工中最经济、常见的一种施工方法。

其施工作业顺序为：围护结构施工→基坑开挖→支撑架设→主体结构自下而上施工→防水层施工→回填土→恢复路面。

根据明挖法施工顺序，顶板是地铁车站主体结构中最后施工部分。地铁车站结构顶板类似于框架结构板，其上部荷载通过顶板及横梁向两边的侧墙及纵梁，再由侧墙及框架柱传向基础。地铁车站顶板混凝土浇筑过程中，水化热大量产生，结构内部温度较高，上下表面温度低，形成较大的里表温差，易造成表面开裂。

2.盖挖法

盖挖法可以分为：盖挖顺筑法、盖挖逆筑法及盖挖半逆筑法。盖挖法在交通繁忙的城市街道的施工中比较常见，其具有快速恢复交通、减少对周围建筑干扰的优势。

(1) 盖挖顺筑法

盖挖顺筑法施工是在保障地上交通的临时路面系统完成后，在其保护下，先自上而下开挖土体至基底设计标高后，再自下而上进行结构主体施工和防水处理，最后拆除临时路面、恢复路面的方法。

其施工作业顺序为：围护结构施工→中间桩施工→临时路面系统施工→基坑开挖→支撑架设→主体结构由下至上顺序施工，同时完成防水层施工→回填土→拆除临时路面系统→恢复路面。

可以看出盖挖逆筑法和明挖法大部分工序相同，仅在施工阶段前期多了“铺临时路面”。因此，两者的传力方式和传热特点相近。

(2) 盖挖逆筑法

盖挖逆筑法与盖挖顺筑法不同之处在于：盖挖逆筑法取消临时路面，直接开挖并进行顶板结构的施工后，回填土并恢复路面交通后，在顶板结构的保护下，从上到下分层开挖土体的同时修筑主体结构。

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库