

文章编号: 1674—8247(2021)01—0094—05  
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2021.01.020

## 下穿 T2 航站楼天府机场高铁站转换厚板结构选型

刘 曦 杨孟根 高夕良

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

**摘 要:**本文对天府机场高铁站下穿天府国际机场航站楼咽喉区区间隧道转换顶板结构方案进行必选,采用 MIDAS/GEN 建立实体单元受力分析,比对两种转换形式上受力的优缺点,提出圆拱厚板转换设计的设计建议,为其它隧道结构下穿建筑物转换工程设计提供参考。

**关键词:**隧道;平顶圆拱;转换厚板;实体单元

**中图分类号:**TU974 **文献标志码:**A

## Type Selection of Transition Thick Slab Structure for Tianfu Airport High-speed Railway Station Underpassing T2 Terminal

LIU Xi YANG Menggen GAO Xiliang

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

**Abstract:** This paper selects the scheme of the transition roof structure of the sectional tunnel of Tianfu Airport High-speed Railway Station underpassing the station throat of Tianfu International Airport Terminals, in which MIDAS/GEN is used to establish solid unit stress analysis, to compare the two transition forms for their advantages and disadvantages, and put forward some suggestions on the transition design of circular arch thick plate, which provides a reference for the transition engineering design of other tunnel structures.

**Key words:** straight wall arch; tunnel; flat-topped circular arch; transition thick slab; solid unit

### 1 工程概况

成都至自贡客运专线天府机场高铁站依次下穿新建天府国际机场 T1、T2 航站楼,高架桥, T1、T2 停车楼、综合换乘中心 GTC,成都地铁 13、18 号线,综合管廊等构筑物,实现交通上的“零换乘”,车站及咽喉区间隧道线路与上部结构整体平面斜交成  $55^\circ$ 。车站总长 1 613 m,分为车站主体部分和两端咽喉区间部分。车站主体为地下二层双岛六线式,总长 517.2 m,标准段净宽 67.4 m,有效站台长 450 m,车站咽喉区间大里程段全长 550.8 m,小里程段全长 545 m。其中大

里程段区间位于 T2 航站楼正下方,平面空间互相交叉,对高速铁路车站咽喉区间顶板转换结构提出了较大的挑战。

近年来,对于下穿机场的研究主要集中在铁路隧道下穿机场滑行道及其他构筑物变形方面<sup>[1-7]</sup>,对高速铁路区间隧道下穿航站楼的研究很少。本文针对咽喉区间隧道下穿 T2 航站楼转换上部结构的断面方案选型进行研究,以期为其它类似项目提供借鉴。

### 2 结构方案

大里程咽喉区间结构平面呈喇叭口,宽度沿线路

收稿日期:2020-01-20

作者简介:刘曦(1984-),男,高级工程师,注册结构工程师。

引文格式:刘 曦,杨孟根,高夕良.下穿 T2 航站楼天府机场高铁站转换厚板结构选型[J].高速铁路技术,2021,12(1):94-98.

LIU Xi, YANG Menggen, GAO Xiliang. Type Selection of Transition Thick Slab Structure for Tianfu Airport High-speed Railway Station Underpassing T2 Terminal[J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(1):94-98.

逐渐缩小,由 5 孔(净宽 65.9 m)逐减变为单孔(净宽 15.3 m),单孔最大跨度 22 m,区间端头与马蹄形隧道相连。区间顶板上部框架柱数量多,柱底荷载大,其中 T2 航站楼钢结构屋盖钢管框架柱最大轴力标准值 28 700 kN,且区间同一断面内各跨框架柱荷载大小、数量及位置各不相同。

借鉴复杂高层建筑结构设计案例及相关工程经验<sup>[8-11]</sup>,结构形式可采用转换梁(型钢梁)、转换厚板、转换桁架、箱型转换等。转换梁因跨度和挠度均较大,且上部结构柱网不规则(局部区域柱网为弧形),而咽喉区间结构平面为喇叭口型,故布置转换梁不合适。根据地下结构受力特点,结合工程实际,区间隧道结构顶板采用转换厚板较为合理。

因咽喉区间结构上部框架柱分布位置及荷载大小不同,方案需考虑荷载不利位置(弯矩或剪力最大的位置),同时应满足剪压比限值、抗冲切计算及抗剪切计算。转换厚板分别对直墙平顶圆拱断面方案与直墙圆拱断面方案进行对比分析。直墙平顶圆拱断面方案顶板内侧为圆拱,顶板顶为平面,实际受力特点为加腋梁的特性。直墙圆拱断面方案实际受力特性以拱的特性为主。

3 受力分析

本段咽喉区间为明挖区间,基坑支护方式为放坡开挖及围护桩+锚索防护,底板持力层为中等风化泥岩、砂岩。结构计算截面尺寸:底板厚 1.8 m(设置抗拔桩),侧墙厚 2 m(侧墙高度 13.5~15.5 m),中隔墙厚 1 m,顶板厚 2.5~2.8 m。底板位于地下-25 m,混凝土采用 C45。受到上部结构制约,区间顶板标高由航站楼上部结构建筑使用要求确定,顶板拱弧线为由侧墙顶点、中隔墙顶点及顶板中点形成的圆弧形。

采用 MIDAS/GEN 建立实体单元模型进行受力分析,为接近工程实际,取一 40 m 长的施工段建模。上部基础荷载(11 000 kN)采用均布荷载施加于实体单元节点上(考虑结构基础的扩散作用),作用于模型平面中部(20 m 处),顶板同时施加 10 m 覆土土压力、超载 20 kN/m<sup>2</sup> 及自身自重。采用弹簧支座模拟边界约束及抗拔桩,弹簧刚度根据地质勘查的基床系数赋予,土压力及水压力荷载施加于底板和侧墙。为利于施加荷载及结构分析,采用结构的垂直方向与全局坐标系的 Z 轴平行建模。区间断面建模示意如图 1 所示。本文针对中间孔最大跨的应力结果进行方案比较分析。

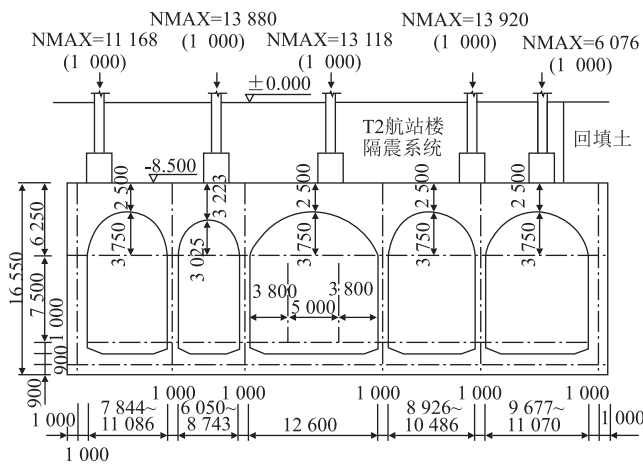


图 1 区间断面(建模)示意图(mm)

3.1 直墙平顶圆拱断面方案

直墙平顶圆拱断面在上部结构荷载及覆土压力荷载作用下的最大主应力如图 2 所示。中间孔跨度约 13 m,从应力分布上看,厚板呈现单向板受力状态,截面受力类似于加腋梁的受力状态,中间孔跨底部及支座顶部受拉。

荷载作用下直墙平顶圆拱断面 X 轴轴向应力如图 3 所示。

从图 3 可以看出,中间跨顶部支座受拉区宽度约占单孔跨度(13 m)的 26%,底部受拉区宽度约占单孔跨度(13 m)的 26%,结构断面上受拉区竖向分布占整体板厚的 30%。

结合 MIDAS/GEN 的计算结果,汇总中间孔应力及变形数据如表 1 所示。

表 1 直墙平顶圆拱断面应力分析表

项目	部位	中间跨跨中 /MPa	中间跨支座 /MPa
X 轴轴向应力	顶层	-2.55	0.38
	底层	1.01	-0.51
Y 轴轴向应力	顶层	-1.27	-0.2
	底层	0.69	-0.53
XZ 面剪应力		-0.36	0.97
位移		-1.77	-

表 1 中,Y 轴轴向应力是整个区间结构纵向应力(即垂直于线路方向)的体现。在整个顶板平面范围内,上部结构基础荷载在顶板纵向上有一定的影响范围,设计时需确定具体的加强范围。

3.2 直墙圆拱断面方案

直墙圆拱断面方案与直墙平顶圆拱断面方案在同样约束条件、同等荷载的情况下建模。其在上部结构荷载及覆土压力荷载作用下的最大主应力如图 4 所

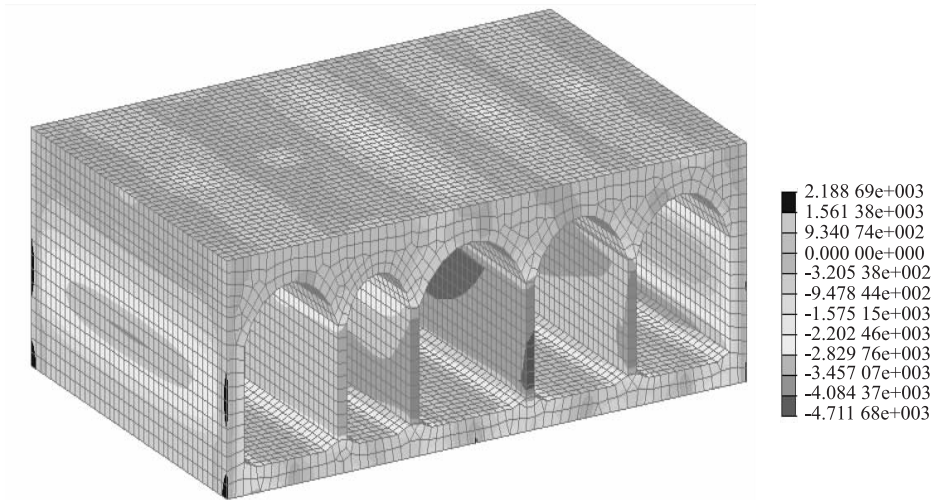


图 2 直墙平顶圆拱断面在上部结构荷载及覆土压力荷载作用下的最大主应力图

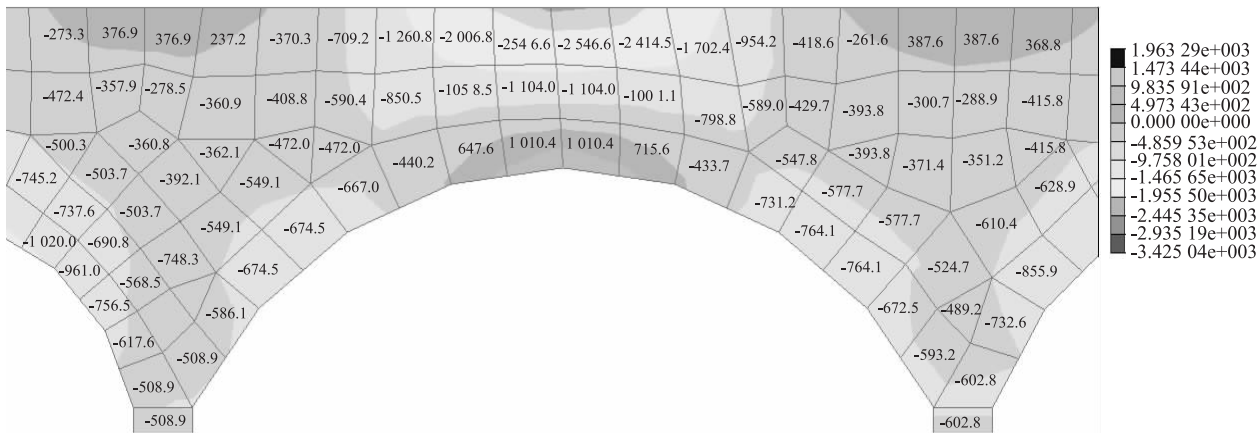


图 3 荷载作用下直墙平顶圆拱断面 X 轴轴向应力图

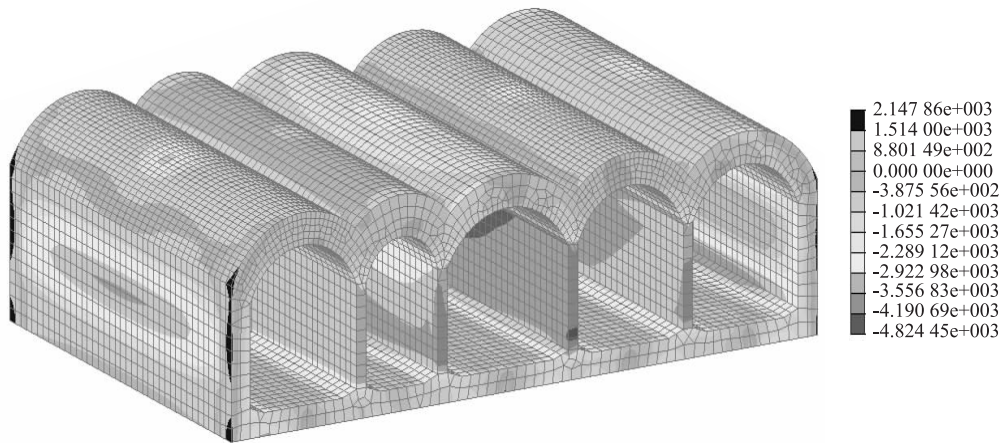


图 4 直墙圆拱断面在上部结构荷载及覆土压力荷载作用下的最大主应力图

示,X 轴轴向应力如图 5 所示。结合 MIDAS/GEN 的计算结果,汇总中间孔应力及变形数据如表 2 所示。

结合图 4、图 5 和表 2 可知,直墙圆拱断面方案中间孔顶部均呈现全跨压应力状态,底部受拉区宽度约

占单孔跨度(13 m)的 25%,结构断面上受拉区竖向分布仅占整体板厚的 30%。

对比两个方案的应力分析结果,可以看出:

(1)直墙平顶圆拱断面方案在跨中底部的拉应力



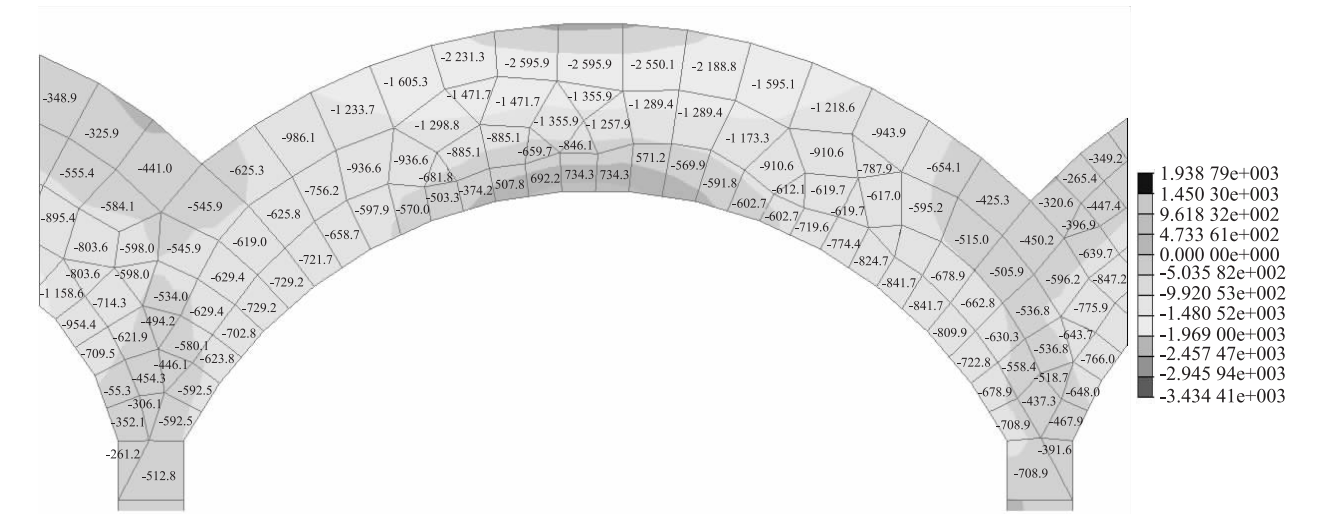


图 5 荷载作用下直墙圆拱断面 X 轴轴向应力图

表 2 直墙圆拱断面应力分析表

项目	部位	中间跨跨中 /MPa	中间跨支座 /MPa
X 轴轴向应力	顶层	- 2. 6	- 0. 55
	底层	0. 73	- 0. 59
Y 轴轴向应力	顶层	- 1. 46	- 0. 15
	底层	0. 73	- 0. 71
XZ 面剪应力		0. 2	1
位移		- 1. 88	-

比直墙圆拱断面方案大 38.3%,即同样断面厚度的情况下,直墙平顶圆拱断面方案跨中底部受拉明显。

(2)直墙平顶圆拱断面方案支座顶部出现拉应力,直墙圆拱断面方案支座顶部为压应力,即在同样断面厚度的情况下,直墙平顶圆拱断面方案支座顶部受拉明显。

(3)直墙圆拱断面方案的拱效应较直墙平顶圆拱断面方案明显,更有利于受力,在上部转换柱荷载作用范围内,顶板 95% 的截面高度范围均参与抗压,更能充分发挥混凝土的抗压优势。但与此同时,因拱形断面将上部荷载转化为对中隔墙及侧墙的水平推力,直墙圆拱断面方案中隔墙剪应力较直墙平顶圆拱断面方案大,约大于直墙平顶圆拱断面方案剪应力的 25%,对竖向构件不利。

(4)两种方案在弹性位移方面相差不大,刚度相当。

总体来说,两种方案应力相当,刚度相当。直墙平顶圆拱断面方案支座顶部有拉应力,直墙圆拱断面方案无拉应力。直墙圆拱断面方案混凝土受压利用得更充分,弯矩转化为轴力更多,拱效应更明显。但从结构概念来说,直墙平顶圆拱断面方案顶板支座节点有加强,更符合“强节点”的抗震设计概念,且本项目顶板

上有较多的航站楼结构基础,基础底部需安装隔振支座,顶板拉平利于上部结构基础施工,也利于顶板结构钢筋绑扎和外包防水卷材施工。综合上述因素,最终采用直墙平顶圆拱断面方案进行设计。

4 实体单元应力配筋

本工程截面厚度较大,实体单元应力配筋采用杆系单元模拟与实际受力状态存在较大差别,因此,在采用平面杆系单元断面设计的同时,以实体单元分析作为补充校核。

根据 SL191 - 2008《水工混凝土结构设计规范》<sup>[12]</sup>第 3.1.3 条规定,可依据有限元软件分析结果进行承载力和正常使用条件的配筋计算和验算。由弹性力学分析方法求得截面的应力图形面积确定配筋数量,按应力图形面积计算配筋的公式为:

$$A_s \geqslant \frac{KT}{f_y}$$
(1)

式中:K——安全系数,取 1.35;

T——钢筋承担的拉力;

B——梁宽(m);

$f_y$ ——钢筋抗拉设计强度(MPa)。

针对非杆件体系的钢筋混凝土结构裂缝控制问题,SL 191 - 2008《水工混凝土结构设计规范》提出了采用限制钢筋应力的方式对裂缝进行控制:

$$\sigma_{sk} \leqslant \alpha_s f_{yk}$$
(2)

式中: $f_{yk}$ ——钢筋屈服强度标准值,MPa;

$\alpha_s$ ——考虑环境影响和荷载长期作用的综合影响系数,取值范围 0.5 ~ 0.7,对一类环境取大值,对四类环境取小值。

根据以上要求,对实体单元进行裂缝配筋,控制钢

筋最大应力来控制裂缝,当弹性应力图形的受拉区高度小于结构截面高度的  $2/3$  且截面边缘最大拉应力不大于  $0.45f_{tk}$  时,仅配置构造钢筋。对比 SL 191-2008《水工混凝土结构设计规范》和 GB 5001-2010《混凝土结构设计规范》<sup>[13]</sup> 的裂缝计算公式,再次计算裂缝,同等条件下若达到同样的裂缝宽度,水工规范需增加钢筋面积。

根据配筋量及钢筋间距要求,配筋量较大处采用并筋的布置方式。由于拱轴力的作用明显,截面配筋按压弯构件计算承载力及裂缝。配筋设计时,在顶板高度范围内按一定间距配置钢筋网片可从构造上缓解大体积混凝土温度收缩的影响,同时提高截面抗剪承载力。

## 5 结束语

本文通过对区间隧道顶板转换结构选型分析,得出以下结论:

(1) 在大跨度转换集中荷载下,直墙平顶圆拱结构受力更合理,可优先选用。

(2) 在满足工程耐久性设计前提下,可适当提高混凝土强度等级来提高厚板抗冲切、抗剪切及抗弯承载力。但本工程截面尺寸较大,影响在施工及设计时,需采取相应的措施来控制大体积混凝土温度应力的影响。

(3) 直墙平顶圆拱结构在控制结构承载力、裂缝、挠度时更易满足规范要求。

(4) 转换厚板呈现三向受力状态,配筋设计时应根据应力配置钢筋,并在剪应力较大处设置单肢箍。

## 参考文献:

- [1] 蒋小锐. 城际铁路隧道下穿机场滑行道方案探讨[J]. 铁道标准设计, 2017, 61(1): 71-75.  
JIANG Xiaorui. Discussion on the Scheme of Intercity Railway Tunnel Passing under Airport Taxiway[J]. Railway Standard Design, 2017, 61(1): 71-75.
- [2] 金淮, 吴锋波, 马雪梅, 等. 首都国际机场线下穿机场高速公路变形特性研究[J]. 工程勘察, 2010, 38(10): 61-66.  
JIN Huai, WU Fengbo, MA Xuemei, et al. Deformation Characteristics of Beijing International Airport Line Underground Crossing the Airport Expressway[J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 2010, 38(10): 61-66.
- [3] 高爱林, 马雪梅, 金淮, 等. 盾构隧道下穿机场停机坪的变形规

律[J]. 都市轨道交通, 2010, 23(1): 74-77.

GAO Ailin, MA Xuemei, JIN Huai, et al. Deformation of Airport Apron Caused by Shield Tunnel Under-Passing[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2010, 23(1): 74-77.

- [4] 李志军, 张建国. 地铁盾构区间下穿机场跑道的控制[J]. 水利与建筑工程学报, 2017, 15(4): 153-156.

LI Zhijun, ZHANG Jianguo. Influence Control of Subway Shield Driving through Airport Runway[J]. Journal of Water Resources and Architectural Engineering, 2017, 15(4): 153-156.

- [5] 袁新朋. 城际铁路隧道下穿机场飞行区沉降控制研究[J]. 高速铁路技术, 2015, 6(4): 26-30.

YUAN Xinpeng. Study on Settlement Control of Intercity Railway Tunnel Under-Passing Flight Area of Shenzhen Airport[J]. High Speed Railway Technology, 2015, 6(4): 26-30.

- [6] 唐翌, 唐雄俊. 恩施下穿许家坪机场隧道结构设计及安全分析[J]. 公路隧道, 2016(4): 28-32.

TANG Zhao, TANG Xiongjun. Structural Design and Safety Analysis of Enshi Underpass Xujiaping Airport Tunnel[J]. Highway Tunnel, 2016(4): 28-32.

- [7] 武俊杰. 北京地铁新机场线下穿京沪高速铁路特大桥施工安全控制研究[J]. 高速铁路技术, 2019, 10(1): 91-96.

WU Junjie. Study on Construction Safety Control of Beijing Metro's New Airport Line underneath Passing Beijing-Shanghai High-Speed Railway Grand Bridge[J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(1): 91-96.

- [8] 傅学怡. 带转换层高层建筑结构设计建议[J]. 建筑结构学报, 1999, 20(2): 28-42.

FU Xueyi. Design Proposals of Tall Building Structures with Transfer Stories[J]. Journal of Building Structures, 1999, 20(2): 28-42.

- [9] 荣维生, 王亚勇, 惠跃荣. 高层建筑中转换厚板的受力特性分析[J]. 建筑科学, 2012, 28(11): 5-8.

RONG Weisheng, WANG Yayong, HUI Yuerong. Mechanical Characteristic Analysis of Transfer Slabs in Tall Building Structures[J]. Building Science, 2012, 28(11): 5-8.

- [10] 林济星. 厚板转换在跨越地铁中的运用[J]. 广东土木与建筑, 2012, 19(9): 10-12.

LIN Jixing. The Usage of the Thick Plate of Transition in Crossing the Metro Tunnels[J]. Guangdong Architecture Civil Engineering, 2012, 19(9): 10-12.

- [11] 赵根田, 李需清. 梁式转换和板式转换结构抗震性能对比[J]. 内蒙古科技大学学报, 2017, 36(1): 80-83.

ZHAO Gentian, LI Peiqing. Analysis on Seismic Performance of Beam and Plate Converter Floor[J]. Journal of Inner Mongolia University of Science and Technology, 2017, 36(1): 80-83.

- [12] SL 191-2008 水工混凝土结构设计规范[S].

SL 191-2008 Water Resources Standard (Irrigation) of the People's Republic of China; Design Code for Hydraulic Concrete Structures [S].

- [13] GB 50010-2010 混凝土结构设计规范 [S].

GB 50010-2010 Code for Design of Concrete Structures [S].