

施工期间地下室顶板在多种工况下的承载力验算

王刚

陕西保维建筑工程有限公司, 陕西 西安 710000

[摘要] 文章结合工程实例, 考虑施工期间地下室顶板在多种工况作用下(行车荷载、机械设备基础、材料及构件堆载), 计算出等效均布荷载和原设计荷载进行比较, 如原设计荷载不满足则需考虑进行结构加固支撑措施, 以确保施工期间地下室顶板在不发生整体破坏的前提下, 避免结构裂缝对地下室防渗漏及结构耐久性产生不利影响。

[关键词] 顶板; 行车荷载; 材料堆载; 机械荷载; 构件堆载;

DOI: 10.33142/aem.v2i7.2582

中图分类号: TU93

文献标识码: A

Checking Calculation of Bearing Capacity of Basement Roof under Various Working Conditions during Construction

WANG Gang

Shaanxi Baowei Construction Engineering Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710000, China

Abstract: Based on the engineering example, the paper calculates the equivalent uniform load and compares it with the original design load under various working conditions (vehicle load, mechanical equipment foundation, material and component stacking load) of basement roof during construction. If the original design load is not satisfied, it is necessary to consider the structural reinforcement and support measures to ensure that the basement roof will not be completely broken during the construction period on the premise of bad, avoiding structural cracks will have adverse effects on basement leakage prevention and structural durability.

Keywords: roof; vehicle load; material surcharge; mechanical load; component surcharge;

引言

随着群体建筑(含整体地下室)设计在城市建筑工程中大量采用, 在施工过程中由于施工荷载超过原地下室顶板设计荷载, 全国范围内因此导致的地下室顶板整体坍塌事故屡见不鲜, 经过事故调查分析主要集中在以下三种情况: 结构类型大多为无梁楼盖; 事故都是发生在顶板回填土阶段, 且局部堆载过高; 在顶板回填阶段, 都没有加固措施。伴随事故的发生, 社会关注度的提高, 从设计到施工, 从地下室顶板选型到施工期间各种限载及加固措施的落实, 地下室顶板出现大面积坍塌的重大事故逐步在减少。但是对于施工期间地下室顶板在多种工况下(如施工车辆行车、机械设备基础、建筑材料及构件堆载)虽发生大面积坍塌的可能性不大, 但是行车荷载或者局部堆载导致的结构裂缝, 对于地下室防渗漏及结构耐久性的不利影响关注度远远不够(图1为地下室顶板在局部堆载后产生的贯通裂缝)。本文将根据地下室顶板在施工过程遇到的各种常见工况作用下, 以实例验算的方式进行阐述, 如何确保施工期间地下室顶板在不发生整体破坏的前提下, 避免结构裂缝对地下室防渗漏及结构耐久性产生不利影响。以下验算中的实际荷载取值均为拟定值, 实际计算时需根据现场实际情况进行取值。



图1 地下室顶板在局部堆载后产生的贯通裂缝

1 地下室顶板行车验算

地下室顶板行车验算,大的思路是将行车荷载进行近似等效,根据内力等值的原则等效为均布静荷载,根据等效均布荷载与原设计荷载进行比较,确定是否要进行结构加固支撑。该验算最大的难度在于荷载等效计算,具体的等效计算可参照建筑结构静力计算手册。本文主要阐述在静力计算之外,结合规范或者现有的权威文件,直接进行查表计算等效荷载。

2 工程基本概况分析

- (1) 无梁楼盖/有梁楼盖:根据楼盖类型确定楼板跨度(无梁楼盖柱网/次梁间距);
- (2) 有无回填土:要根据覆土厚度考虑动力系数,涉及到等效均布荷载验算;设计承载力需考虑覆土厚度折减;
- (3) 考虑验算部位是否为规划消防车道:涉及到原顶板设计荷载取值;
- (4) 是否保护层/硬化路面:涉及到均布荷载等效计算;
- (5) 汽车轮压荷载动力系数:根据《建筑结构荷载规范》(GB50009-2012)第5.6.2条:搬运和装卸重物以及车辆启动和刹车的动力系数,可采用1.1~1.3;其动力荷载只传至楼板和梁;
- (6) 常见工况验算项目:行车荷载、施工电梯、砂浆罐、钢筋堆场、PC构件堆场;
- (7) 验算内容:内力、变形和裂缝;有梁楼盖(梁、板)和无梁楼盖验算;结构板验算(承载力、抗剪及抗冲切承载力)、回顶支撑验算;
- (8) 后浇带独立验算/伸缩后浇带调整为膨胀加强带;
- (9) 同时需要考虑行车荷载前后轮分配及结构承载和回顶支撑承载分配等。

3 顶板安全验算基本流程

- (1) 地下室顶板行车道路及堆载位置规划

根据项目策划及施工现场平面布置图,确定地下室顶板行车路线,这些信息为具体验算取值提供依据。

- (2) 确定设计参数

需要结合图纸确定的参数有:顶板类型:有梁楼盖/无梁楼盖,轴距或次梁间距($a*b$);楼板厚度: H ;规划道路及堆场位置是否有二次硬化/回填:厚度 c ;设计荷载:设计活荷载 q 及覆土层厚度 h ;这些参数用来进行荷载等效计算和设计承载力取值。

- (3) 结构设计承载力计算

查阅本工程施工图纸结构总说明中地下室顶板设计承载力取值,需考虑覆土厚度折减,根据设计覆土厚度查阅折减系数。

- (4) 各类型等效均布荷载计算(近似值);需考虑动力系数

为计算方便,用均布荷载等效不连续分布的实际荷载,但是内力等值,即弯矩等值。具体等效计算方法详后续内容。

- (5) 结构安全验算

根据前面查阅并计算的结构设计承载力和行车荷载等效均布荷载,按照以下步骤验算:

第一步比较:根据等效荷载计算值与设计值比较;如等效荷载计算值小于等于设计值,则进入第二步。否则将直接进行顶板支撑加固验算。

第二步验算:根据GB50010-2010混凝土结构设计规范(2015年版)中:第6.3.3条进行抗剪验算;根据第6.5.1条进行抗冲切验算;根据第6.6.1条进行局部承载力验算。

4 行车等效均布荷载计算(地下室顶板尚未回填土)

4.1 直接折算

查《建筑结构荷载规范》GB50009-2012中表5.1.1,满载300KN的大型车辆对地库顶板产生的均布活荷载:

- (1) 单向板楼盖(板跨不小于2m)和双向板楼盖(板跨不小于 $3m \times 3m$),取 $35KN/m^2$;
- (2) 双向板楼盖(板跨不小于 $6m \times 6m$)和无梁楼盖(柱网不小于 $6m \times 6m$),取 $20KN/m^2$;
- (3) 当双向板楼盖板跨介于 $3m \times 3m$ — $6m \times 6m$ 之间时,应按跨度线性插值确定;

当实际车辆荷载大于300KN时,可按照实际荷载乘系数确定。

4.2 根据权威文件直接查表

根据参考文献[1]中提供的消防车轮压作用下单向板/双向板的等效均布荷载数据表直接查表(图2)确定。该表根据300kN级轮压计算,当实际车辆荷载大于300kN时,可按照实际荷载乘系数确定。

消防车轮压作用下单向板的等效均布荷载值/kN/m ²									
板跨/m	覆土厚度/m								
	≤0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	≥2.50
≥2	35.0	32.0	29.1	26.1	23.2	20.2	17.2	14.3	11.3

消防车轮压作用下双向板的等效均布荷载值/kN/m ²									
板格的短边跨度/m	覆土厚度/m								
	≤0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	≥2.50
2.0	35.0	32.0	29.1	26.1	23.2	20.2	17.2	14.3	11.3
2.5	33.1	30.4	27.7	24.9	22.2	19.5	16.8	14.0	11.3
3.0	31.3	28.8	26.3	23.8	21.3	18.8	16.3	13.8	11.3
3.5	29.4	27.1	24.9	22.6	20.3	18.1	15.8	13.6	11.3
4.0	27.5	25.5	23.5	21.4	19.4	17.4	15.4	13.3	11.3
4.5	25.6	23.8	22.0	20.3	18.5	16.7	14.9	13.1	11.3
5.0	23.8	22.2	20.6	19.1	17.5	16.0	14.4	12.9	11.3
5.5	21.9	20.6	19.2	17.9	16.6	15.3	14.0	12.6	11.3
≥6.0	20.0	18.9	17.8	16.7	15.7	14.6	13.5	12.4	11.3

图2 参考文献[1]中数据表

4.3 等效荷载计算

查《建筑结构荷载规范》GB50009-2012 附录C或者参照建筑结构静力计算手册进行计算。

(1) 施工期间重型车辆类型:混凝土罐车、钢筋运输车、吊车、干混砂浆罐车;可根据现场实际取值,如按照50吨考虑,荷载为500kN;荷载分布简化模型如图3,实际计算会简化。

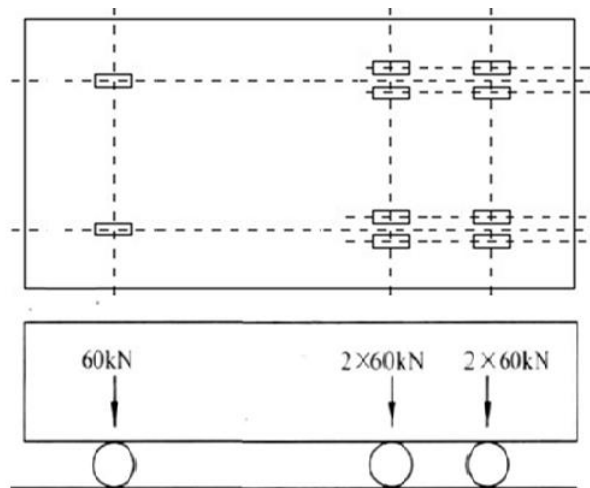


图3 车辆荷载分布简化模型

(2) 模型简化:一般按照最不利情况考虑,后车轮作用在跨中考虑,后轮均作用在一个共同的平面上,轮胎着地尺寸为0.6m×0.2m。

(3) 单向板:荷载等效计算;后车轮作用单侧荷载取25吨,前车轮作用荷载不计;双向板:按照单向板计算原则;按照四边简支板最大弯矩等值原则;前后轮荷载分配比例1:4,两侧后轮作用在同一作用面上。

具体计算此处不展开,可具体查阅相关规范及手册参照计算。

5 行车等效均布荷载计算(地下室顶板已回填土)



图4 地下室顶板回填土施工

如果顶板已经回填土, 轮压荷载扩散, 可直接按照车辆投影面积直接计算, 如 12m³ 罐车尺寸: 10m*2.5m*4m:
 满载总重: 12×2400/1000+17 (自重)=45.8T=458KN;
 罐车车身投影尺寸: 9.5X2.1=19.95m² (简单作用面积按照车身投影计算);
 每平方米承受荷载: 458/19.95=23KN/m²。

6 施工电梯基础设置在地下室顶板验算

以某品牌 SC200/200 型施工电梯为例, 具体参数如图 5:

序号	项目	技术参数	
1	额定载重量 (Kg)	2×2000	
2	架设高度 (m)	根据实际, 拟定为120m	
3	护栏重量 (Kg)	1300	
4	吊笼重量 (含驱动系统) (Kg)	2×2000	
5	标准节长度 (mm)	1508	
6	标准节重量 (Kg)	145	
7	标准节截面尺寸 (mm)	650×650	
8	对重重量 (Kg)	根据实际取值	
9	基础尺寸 (mm)	地下室顶板上	6000 (长) × 4000 (宽) × 250 (高)
		基坑回填土上	6000 (长) × 4000 (宽) × 400 (高)
10	基础重量 (KN)	地下室顶板上	150
		基坑回填土上	240



图5 SC200/200 型施工电梯参数

根据相应《SC 系列施工电梯使用说明书》, 电梯基础承载值 P 计算如下:

$P=n \times G$, 其中 n 为考虑施工电梯运行过程中的动载、风载及自重误差对基础的影响, 取安全系数 $n=2$;
 $G=$ 吊笼自重 (含驱动系统)+吊笼额定载重+底架护栏自重+导轨架自重+附件重量+附墙架自重+对重自重
 转化成重力 (KN): $P=2 \times 10 \times G \times 0.001=0.02G$ (KN)

计算示例:

SC200/200 型施工电梯, 架设高度 120m, 安装在地下室顶板;

吊笼自重: $2000 \times 2=4000\text{kg}$;

吊笼额定载重: $2000 \times 2=4000\text{kg}$;

底架护栏自重: 1300kg ;

导轨架自重: $145 \times 80=11600\text{kg}$;

电源电缆、电缆导向装置、紧固件等附件重量约为 2000kg ;

附墙架自重： $146 \times 14 = 2044 \text{kg}$ （附墙间距不大于 9m，顶部不大于 7.5m）；

对重自重：0Kg；

代入数据计算：

$P = 0.02G$

$= 0.02 \times (4000 + 4000 + 1300 + 11600 + 2000 + 2044)$

$= 498.88 \text{KN} \approx 500 \text{KN}$

电梯基础自重设计值：（基础尺寸为 $4000 \times 6000 \times 250 \text{mm}$ ）

$G_k = 25 \times 6.00 \times 4.00 \times 0.25 = 150.00 \text{kN}$ ；基础重量系数取 1.0；

作用在顶板上的竖向力 $P_{\text{总}} = 500 + 150 = 650 \text{kN}$ ；

$f = 650 / (4 \times 6) = 23.2 \text{KN/m}^2$ ；

施工电梯及基础对地下室顶板的均布荷载为 27.08KN/m^2 ；

等效荷载计算后与设计承载力比较，验算方式同前，最终确定是否需要进行加固支撑。

7 材料及构件堆载在地下室顶板验算

7.1 HPB300 盘圆钢筋堆载验算

（1）每盘钢筋重量拟定为 2.5 吨，计算得 25KN/盘 ；

（2）平放时的底面积（圆盘钢底部设置垫板）：

$A = \pi R^2 = 3.14 \times (\text{圆盘直径 } 1.6/2)^2 = 2.00 \text{m}^2$

（3）按照堆放两层考虑，地下室顶板受到的压力： $25 \times 2/2 = 25 \text{KN/m}^2$ ；

（4）验算：盘圆荷载为 25KN/m^2 与设计承载力比较，验算方式同前，最终确定是否需要进行加固支撑。

7.2 HRB400 及 500 级直条钢筋堆载验算（方法一）

（1）每捆钢筋重量拟定 3 吨， 30KN/捆 ；

（2）每捆按照 9m 长考虑；

（3）直条钢筋在工字钢架上放置，工字钢间距不大于 2m，设置 5 道支架，等同于均布荷载（长 8m，宽 1.2m），每格水平可放置两捆，水平向可放置两捆；

（4）现拟定每格竖向堆放 3 层钢筋，每一格架子底梁受到重量为：

$30 \times 2 \times 3 / (8 \times 1.2) = 18.75 \text{KN/m}^2$ ；

计算结果与设计承载力比较，验算方式同前，最终确定是否需要进行加固支撑。

7.3 HRB400 及 500 级直条钢筋堆载验算（方法二）

（1）整扎钢筋：钢筋原料堆场和成品堆场，堆置净高控制在 500mm 以内（竖向两捆高度）；

（2）根据《建筑结构荷载规范》GB50009-2012 附录 A，钢筋容重 78.5KN/m^3 ，最大均布荷载 $= 78.5 \text{KN/m}^3 \times 0.50 \text{m} \times 0.7$ （空隙率，该系数比较敏感） $= 27.5 \text{KN/m}^2$ 。

计算结果与设计承载力比较，验算方式同前，最终确定是否需要进行加固支撑。

7.4 砂浆罐放置在地下室顶板验算

砂浆灌自重： 2350kg （以实际为准），搅拌罐容积按照 20m^3 考虑；

搅拌机自重： $PK = (2350 + 20 \times 1800) \times 10 / 1000 = 383.5 \text{kN}$ ；

基础重量： $G_k = 4 \times 4 \times 0.25 \times 25 = 100 \text{kN}$ ；

考虑动载、自重误差及风载对基础的影响，取系数 $n = 1.2$ ，基础重量系数取 1.0；

作用在地下室顶板承载力： $P_{\text{总}} = 1.2 \times 383.5 + 1.0 \times 100 = 560.2 \text{kN}$ ；

$f = 560.2 / (4 \times 4) = 35.01 \text{KN/m}^2$ ；

施工电梯及基础对地下室顶板的均布荷载为 35.01KN/m^2 。

计算结果与设计承载力比较，验算方式同前，最终确定是否需要进行加固支撑。

7.5 PC 构件

根据《建筑结构荷载规范》GB50009-2012 附录 A，钢筋混凝土容重 25KN/m^3 ，结合 PC 构件工艺图纸，选取对地下

室顶板最不利的 PC 构件（构件重，底部受力面积较小的 PC 构件）进行分析：

（1）PC 墙板

根据构件尺寸、单件重量、堆放间距计算均布荷载，如需回顶同单独验算；

（2）PC 叠合板

不考虑回顶，80 厚叠合板均布荷载 $0.08 \times 25 = 2 \text{KN/m}^2$ ；根据设计荷载反算堆放层数；

（3）PC 楼梯

不考虑回顶，按照设计承载力、楼梯尺寸、单件重量，反算堆放层数。

8 加固支撑验算

8.1 结构加固支撑验算有两种方式：第一种不考虑结构承载，按照等效荷载直接验算加固支撑；第二种按照等效荷载扣除结构本身设计承载力，验算差值加固支撑。

8.2 局部加强验算：特殊部位加强，如后浇带等。

8.3 荷载取值：活荷载取值考虑行车/堆载荷载和其他 2KN/m^2 的活荷载；结构自承重不考虑荷载，恒载取值为模板背楞（取值参考 JGJ162-2008 表 4.1.1）及钢管自重。

8.4 计算方法按照不同支撑体系相关规范中，满堂支撑架验算；如果采用其他支撑方式，如型钢支撑等，要进行专项验算。

结束语

以上结合现场实际情况，对地下室顶板常见的多种荷载进行了验算。那么验算结果如果不进行加固支撑就能满足承载力要求是否就可以不进行加固。这个要结合现场实际情况，第一如现场道路规划、车辆限重、限速等是否满足计算条件，如出现野蛮施工（如顶板回填土），实际荷载会远远大于计算取值。另一方面，我们可以在顶板加载过程中对结构变形进行监测，为现场方案的优化提供依据。

[参考文献]

- [1]朱炳寅. 汽车等效均布荷载的简化计算[J]. 建筑结构技术通讯, 2009, 9(3): 17-18.
- [2]GB50009-2012, 建筑结构荷载规范[S].
- [3]JGJ162-2008, 建筑施工模板安全技术规范[S].
- [4]GB50010-2010 (2015 年版), 混凝土结构设计规范[S].
- [5]JGJ130-2011, 建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范[S].

作者简介：王刚（1988.2-），男，长安大学 2010 年毕业，土木工程专业，目前在陕西保维建筑工程有限公司任职总工程师，目前为工程师。