

某多层工业厂房地下室结构设计要点探讨

周海兵

建学建筑与工程设计所有限公司上海分公司 上海 200051

摘要：多层工业厂房一般柱网尺寸及地面活荷载均较大，而地下室造价占整个工程造价的20%~30%，故一般工业厂房基本不设置地下室。但有些多层工业厂房项目因为本身工艺需求以及场地限制，必须设置地下室。据此，在满足建筑功能需求的情况下，多层工业厂房地下室结构设计的合理性值得研究探讨。本文以某多层工业厂房地下室结构设计为例进行分析。

关键词：多层工业厂房；地下室；结构设计

引言

多层工业厂房一般采用框架结构，柱网尺寸较大，单向尺寸一般在9m~12m之间；地面活荷载一般不小于1t/m²，局部甚至达到2 t/m²~3 t/m²，基于以上特点，一般工业厂房基本不设置地下室。但随着工业用地日益紧张，工艺需求不断升级，某些厂房项目受此限制，必须设置地下室。一般地下室造价占整个工程造价的20%~30%，而地下室土建部分造价占地下室造价的60%~70%，工业厂房的地下室由于柱网尺寸及顶板活荷载均较大，土建部分造价占比会更高。因此，工业厂房的地下室结构设计的合理性尤为重要。

多层工业厂房地下室结构设计合理性可从以下三个方面把控：(1)地下室建筑方案布置的合理性。针对建筑方案，结构设计师首先要评估其对结构设计是否合理，不能拿到建筑方案直接建模计算，然后画施工图，造成不必要的浪费。具体可从结构安全、功能使用、造价、工期等方面着手整理出不合理的若干点，并提出相应合理的修改方案，在方案阶段与各专业及业主商讨，达成一致意见后方可进行下一步工作。(2)地下室顶板结构布置的合理性。根据确定后的建筑方案，综合考虑力学模型假定、覆土埋深、顶板活荷载、柱网尺寸、梁下净高、造价等因素后选择较为合理的结构布置方案。若存在较大差异区，可分区选择不同的结构布置方案，如整体采用单向混凝土次梁布置，局部采用井字梁布置，或局部采用大板布置；或局部梁采用预应力梁或型钢混凝土梁等。(3)基础设计的合理性。根据地勘资料提供的土层特性，拟建工程建议适宜的基础类型，高水位及低水位埋深等信息，结合上部结构柱底内力，并考虑造价及施工可行性，选择较为合理的基础形式。同时应注重细部设计，结合以往项目的经验，保证安全的情况下，改进一些节点做法以节省造价。

1 工程概况

本工程位于上海市青浦区，总建筑面积为63730.6m²，地上建筑面积为53418.3m²，地下建筑面积为10312.3m²。本工程主要有3栋多层厂房及2栋高层配楼组成，其中3栋厂房高度为23.95m，标准柱网尺寸为9.5m×12m，地面活荷载为0.8t/m²，局部活荷载为3t/m²，室内外高差为0.3m；两栋配楼总高度为29.95m，总层数分别为6层和8层，室内外高差为0.6m；5栋建筑主体结构均为装配式混凝土框架结构。因生产工艺需求设置地下蓄冷水池，且场地面积限制导致地上车位数量不足，综合考虑需设置单层地下室。

2 地下室建筑方案布置的合理性

建筑根据工艺需求在2#厂房下设置地下蓄冷水池，此外，业主要求5栋建筑物要相互联系，结合地下室面积指标，原方案在每个单体下仅局部设置地下室，以满足以上各种需求，原方案总图如图1所示。

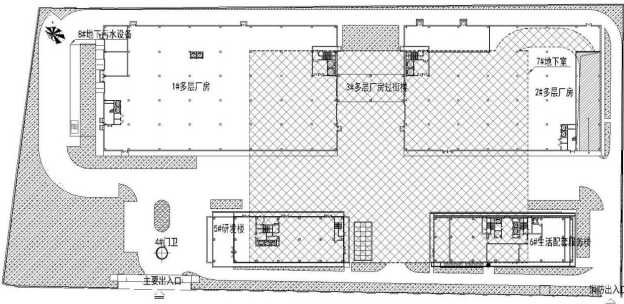


图1 原方案总图

此方案对结构设计来说不是很合理，主要体现在以下几个方面：（1）每个单体下仅局部设置地下室，嵌固端不能设置在地下室顶板处；（2）地下室横跨消防车道，此区域梁、板、柱配筋量会增加，由于跨度大，不采取相关结构措施会影响此区域地下室梁下净高；（3）考虑后期施工开挖，离地下室外墙5m内的框架柱基础埋深需同地下室底板，增加此区域柱计算长度；（4）地下室底板顶

建筑标高为-6.5m,考虑建筑面层及底板厚度,基坑开挖深度会超高7m,按上海市《地基基础设计标准》(DGJ 08—11—2018)[^{1]},本基坑工程安全等级为二级;按沪建规范[2024]13号文发布的《上海市基坑工程管理办法》[^{2]},安全等级为二级及以上的深基坑工程,基坑设计及施工方案均由市科技委事务中心组织论证;若按此要求执行,不仅会增加基坑支护费用,同时会延长施工周期。

结构专业将此问题反馈给建筑,经各方多次沟通,最终建筑在地上设置景观连廊,将5栋建筑物紧密联系;工艺将蓄冷水池调整为储能柜放在地上;局部设备管线穿结构梁,将地下室底板上抬1m,底板标高由-6.5m调整为-5.5m;考虑车位数量及卸货需求,最终建筑将地下室布置在1#~3#厂房下,汽车坡道由总图东侧调整到总图西侧,离主出入口更近,修改版总图如图2所示。

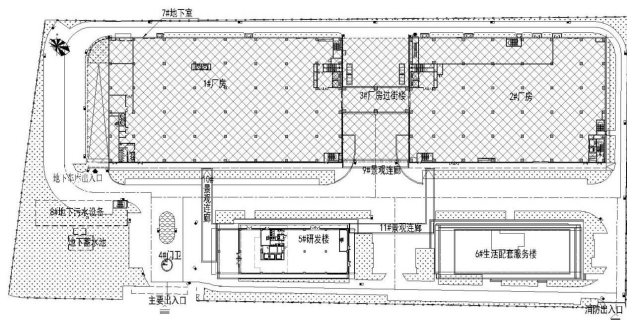


图2 修改版总图

与原方案相比,修改版方案更加简洁紧凑,交通流畅,满足各方需求,对结构设计也更加合理,主要体现在以下几个方面:(1)地下室顶板可作为上部结构的嵌固部位进行计算分析;(2)地下室室外顶板区域不走消防车,该区域荷载可大幅度减小;(3)地下室底板顶标高改为-5.500m,考虑建筑面层及底板厚度,基坑开挖深度小于7m,基坑支护费用及评审时间会减少;地下室外墙、底板配筋及厚度均相应减小。

3 地下室顶板结构布置的合理性

地上厂房的标准柱网尺寸为 $9.5\text{m}\times 12\text{m}$ ，一层地面活荷载为 $0.8\text{t}/\text{m}^2$ ，局部活荷载为 $3\text{t}/\text{m}^2$ ，根据《建筑抗震设计规范》（GB 50011—2010）（2016年版）^[3]，地下室顶板无大开洞，顶板厚度为 180mm ，可将地下室顶板作为上部结构的嵌固端，故采用现浇混凝土梁板体系。综合考虑荷载大小、净高要求、设备管线布置及经济性等因素，活荷载为 $0.8\text{t}/\text{m}^2$ 区域采用单向次梁布置，每个柱跨沿长向布置两道次梁；活荷载为 $3\text{t}/\text{m}^2$ 区域采井字梁布置。

4 基础设计的合理性

4.1 持力层及桩型选择的合理性

根据PKPM软件的SATWE模块计算结果,单柱下标

准组合(1.0恒+1.0活)内力值为11300kN左右,考虑后期施工便利,单柱下承台桩数不宜超过8根,初步估算单桩竖向抗压承载力设计值(按上海地基基础设计标准称为设计值)至少取到1800 kN较为合适。

根据地勘,本地场土层起伏较大,局部土层缺失,如⑦1-2砂质粉土层和⑦2粉砂层;局部土层厚度极大,如⑥3-3粉质黏土夹粉土层;无法选择同一持力层,只能分区选择不同土层作为桩端持力层,为控制基础沉降差,同一单体下桩基承载力设计值尽量取值相同,或极差不超过20%。经过经济性比较,业主最终确认选择PHC管桩方案,桩型为PHC600AB。对于持力层为⑦1-2砂质粉土层或⑦2粉砂层,其比贯入阻力较大,分别为9.2MPa和13.49MPa,考虑后期施工可行性,该区域的桩端进入持力层深度需适当控制,一般不超过3m。

在工期充足的情况下，可建议业主做工前破坏性试桩，按以往上海地区工程经验，单桩竖向抗压承载力设计值可提高20%左右。本项目因工期原因未做破坏性试桩，桩基承载力设计值按地勘资料提供的桩基参数和规范公式理论计算得出，施工完成后的工程桩应进行桩身完整性检验和竖向承载力检验。

综上,为满足安全、经济以及施工便利性等要求,桩位平面布置图应分区注明持力层和桩长。

4.2 计算参数选择的合理性

本项目基础采用PKPM中的JCCAD模块计算，由于厂房地下室功能性机房较多，且有货车通行，局部还需要预留设备房，活荷载较大，基础底板持力层有起伏，综合考虑地下室底板按桩筏模型计算。

常规单层地下室一般仅考虑高水位的抗浮计算,低水位作为安全储备,不考虑这部分的有利作用。但本项目底板埋深及柱网尺寸均较大,桩基抗压计算时应考虑低水位的有利作用,可减少桩数量。

根据本项目地勘对场地地下水的描述，高水位埋深取设计室外地坪下0.5m，低水位埋深取设计室外地坪下1.5m；地下室上部结构室内外高差为0.3m，故历史最高水位标高可取-0.8m，用于地下室抗浮计算；由于本项目整个场地室外设计地坪存在高差，综合考虑，低水位埋深取设计室外地坪下2.0m较为合适，即历史最低水位标高可取-2.3m，除准永久组合外，其他所有荷载组合均考虑低水位即常规水荷载工况。仅从桩基数量而言，考虑低水位荷载工况时，桩基数量相比不考虑低水位荷载工况时减少10%左右，经济效应比较可观。

地下室外墙可取1m板单元,对顶板无开洞区域,按上端铰接,下部固结的梁进行计算;顶板开洞区域,

按上部悬臂，下部固结的梁进行计算；提前与审图沟通过，从安全角度考虑，土压力和水压力应分开计算，采用静止土压力，其中土重度采用浮重度。大部分情况下，地下室外墙配筋由裂缝控制，一般最大裂缝宽度限值取0.20mm，尽量选择小直径，密间距（但不小于75mm）的配筋形式，计算裂缝尽可能贴近限值。

4.3 基础及节点做法的合理性

筏板配筋采用构造通长配筋加局部附加配筋的方式，钢筋间距不宜大于150mm，有利于后期筏板裂缝控制。底板中纵向受力钢筋接头应采用机械连接或焊接，预埋件均采用Q235B钢；底板上部钢筋在支座处连接，下

部钢筋在跨中连接，且接头数量不超过总数的50%。

承台与筏板连接宜采用直角连接，承台侧边采用砖胎膜，可节省混凝土和钢筋。其中承台顶部配筋应按扣除筏板贯通筋之后再附加钢筋形式满足计算和构造要求，筏板下部筋伸入承台长度满足锚固长度 L_a 即可，承台侧面分布钢筋满足构造可选10@200，如图3所示。

地下室外墙配筋应按不同的力学模型分区示意，配筋形式采用通长配筋加根部附加，如图3所示。

集水坑采用侧壁放坡形式，结合实际工程经验，放坡角度由45度调整为60度，可节省混凝土，如图3所示。

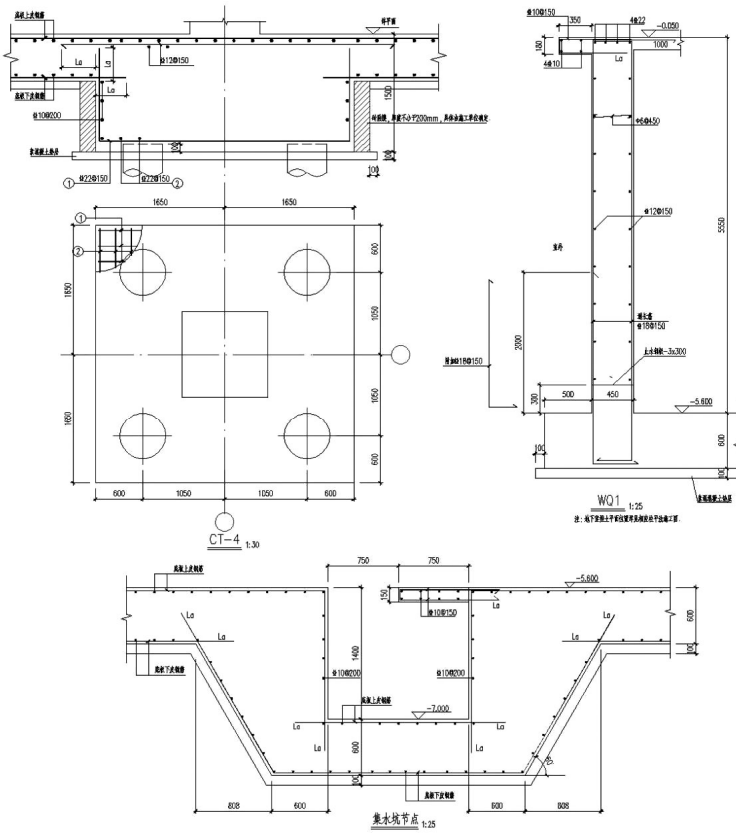


图3 部分节点做法示意图

5 结论

随着工业用地逐渐紧张及原有工业用地利用率低，“工业上楼”势在必行，未来带地下室的多层工业厂房也会逐渐增多，相对民用建筑的地下室，工业厂房地地下室柱网尺寸大，内部功能区多，层高高，顶板、底板活荷载大等特点，这对结构设计人员提出更高的要求。为保证工业厂房地地下室满足安全、生产工艺、经济、环保等需求，结构设计人员可从建筑方案布置的合理性，顶板结构布置的合理性以及基础设计的合理性三方面着手，结合自身项目的特点及场地特点，做出合理的结构设计。

手，结合自身项目的特点及场地特点，做出合理的结构设计。

参考文献

[1]地基基础设计标准：DGJ 08—11—2018[S].上海：同济大学出版社，2019。
[2]上海市基坑工程管理办法：沪建规范[2024]13号.上海市住房和城乡建设管理委员会,2024。
[3]建筑抗震设计规范：GB 50011—2010[S].2016版.北京：中国建筑工业出版社，2016。