

DOI: 10.7672/sgjs2025240098

某建筑物开裂变形原因分析及处理^{*}

李妍¹, 王炯文¹, 何萌², 刘生煜¹, 李明隽¹, 谭璐¹, 田冲冲¹

(1. 陕西省建筑科学研究院有限公司, 陕西 西安 710082;

2. 陕西建工集团股份有限公司, 陕西 西安 710003)

[摘要] 某工业建筑物在强降雨影响下结构及场地出现严重变形和开裂, 为综合评估该建筑物现状下安全性, 对场地和地基基础、主体结构及围护结构分别进行现场调查、地质勘察和上部结构检测, 结合承载力验算结果对其安全性等级进行评定, 综合分析该建筑物变形和开裂原因, 并对后续加固处理提出建议。

[关键词] 开裂; 变形; 安全评估; 滑坡; 加固**[中图分类号]** TU746.3**[文献标识码]** A**[文章编号]** 2097-0897(2025)24-0098-06

Cause Analysis and Treatment of Cracking and Deformation of a Building

LI Yan¹, WANG Jiongwen¹, HE Meng², LIU Shengyu¹, LI Mingjun¹,
TAN Lu¹, TIAN Chongchong¹

(1. Shaanxi Architecture Science Research Institute Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi 710082, China;

2. Shaanxi Construction Engineering Group Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi 710003, China)

Abstract: An industrial building experienced severe deformation and cracking in its structure and site area under the impact of heavy rainfall. To comprehensively assess the safety of the building under current conditions, on-site investigations, geological surveys, and superstructure inspections were conducted respectively for the site, foundation system, main structure, and enclosure structure. Combined with the results of bearing capacity verification, the safety grade of the building was determined. Additionally, a comprehensive analysis was carried out on the causes of the building's deformation and cracking, and recommendations were put forward for subsequent reinforcement and treatment.

Keywords: cracking; deformation; security assessment; landslide; reinforcement

0 引言

建筑物主体结构与场地在使用过程中受不同因素影响, 往往会出现变形和开裂等现象。针对不同工况, 国内学者开展了大量现场调查检测和理论计算, 对建筑物主体结构与场地开裂原因进行了深入分析^[1-4], 邱斌等^[1]通过理论计算对某厂房现浇混凝土楼面开裂原因展开分析; 叶灵鹏^[2]根据现场检测结果和数值模拟计算对某图书馆悬挑梁开裂原因进行推测, 并提出相应加固方案; 赵仕礼^[3]对某工厂滑坡治理后场地变形开裂进行调查分析, 指

出主要原因为抗滑桩布置不合理、强降雨影响等; 杨成等^[4]采用钻探和位移检测等方法对某山地厂房主体结构和地坪开裂原因进行分析, 并采用极限平衡法计算和验证边坡极限滑动面最大深度。

本文通过现场调查检测对发生变形开裂的某建筑结构和场地进行安全评估, 对该建筑物的损伤和变形进行原因分析, 并对后续加固处理方法提出建议。

1 工程概况

某铁路沿线工业建筑为地上 2 层钢筋混凝土框架结构, 建于 2018 年, 梁、板、柱混凝土强度设计等级为 C30, 钢筋等级为 HRB400, 抗震设防烈度为 6 度(0.05g), 设计分组为第 1 组, 场地类别为 II 类; 基础形式为钢筋混凝土独立基础, 地基处理方式为

* 陕西省重点研发计划(2025YS-01); 陕西省省级国有资本经营预算科技创新专项资金项目(ZXZJ-2024-015); 陕西省建筑科学研究院科研项目(2023-11-458, 2024-1-503, 2025-1-545)

[作者简介] 李妍, 高级工程师, E-mail: 840628203@qq.com

[收稿日期] 2025-09-05

灰土挤密桩,有效桩长 12.5m, 挤密孔直径 0.4m, 桩间距 1.2m, 梅花形(等边三角形)布桩, 桩顶部有 0.5m 厚 3:7 灰土垫层。原设计复合地基承载力特征值 $\geq 120 \text{ kPa}$, 现状下建筑物外立面如图 1 所示, 建筑物与火车轨道、河道的相对位置如图 2 所示。



图 1 现状下外立面

Fig. 1 Facade under current conditions



图 2 相对位置关系

Fig. 2 Relative position relationship

该建筑物使用至今遭受 2 次强降雨天气, 第 1 次强降雨(当月降雨量 268mm, 全年降雨量 688.4mm)后建筑物周边场地出现开裂及变形; 第 2 次强降雨(当月降雨量 249mm, 次月降雨量 202.7mm, 全年降雨量 814mm)后建筑物地基及周边场地出现较严重变形和沉陷, 建筑物围护结构、主体结构出现不同程度的损伤。

2 建筑物现场调查

2.1 场地调查

经现场勘察及相关资料调查, 该建筑物地处黄土高原中部丘陵沟壑区与高原沟壑区交界的过渡地带, 属于冻土地区, 冻土层厚度约 1.5m。原设计场地为素土边坡, 东侧 40m 为河道, 西侧 20m 为火车轨道, 南、北两侧为天然边坡, 建筑物北侧、西侧、南侧场地均采用混凝土进行硬化处理。目前状态下, 建筑物北侧、南侧硬化面均已发生破坏, 其中西侧 1.0~3.5m 宽度范围硬化面严重破坏, 失去防水和排水作用。

在强降雨影响下, 该场地整体向河道方向滑移并沉陷, 形成滑坡体, 场地出现牵引性张裂缝和拉张裂缝(见图 3), 滑坡后缘位于建筑物周边 1~5m 处(见图 4), 与建筑物南北方向呈 45°夹角, 滑体中

上部位移量 $>80 \text{ cm}$, 且已形成剪出口(见图 5); 滑坡前缘位于距河道约 10m 坡底处, 出现高约 1m 错坎和宽 10~50mm 裂缝。建筑物东北角下沉严重, ①/⑧轴独立基础因上部回填土遇水冲刷及土体滑移而外露, 有明显积水痕迹, 其余独立基础未发现明显位移和破坏; 建筑物周边地面回填土开裂, 最大裂缝宽约 150mm。南侧邻近高边坡, 南侧场地内回填土发生沉降, 建筑围墙倒塌, 如图 6~10 所示。

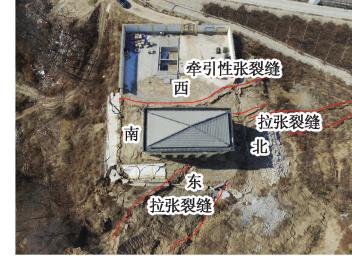


图 3 场地滑坡现状

Fig. 3 Current situation of site landslide



图 4 滑坡后缘位置

Fig. 4 Position of landslide rear edge



图 5 滑坡剪出口

Fig. 5 Landslide shear outlet



图 6 滑坡后缘现状

Fig. 6 Current situation of landslide rear edge



图 7 东侧场地沉降

Fig. 7 Settlement of east side site



图 8 东侧围墙倒塌

Fig. 8 Collapse of east side wall



图 9 独立基础外露

Fig. 9 Exposure of isolated foundations



图 10 场地地面及室内地面开裂

Fig. 10 Cracking for site ground and indoor ground

2.2 主体结构调查

该建筑物结构平面呈矩形布置,结构竖向抗侧力构件布置连续,房屋无错层,1,2 两层通高,局部设置楼板。由于受极端天气暴雨影响,建筑物向东

北方向发生明显倾斜和滑移,室内混凝土楼梯平台处支座拉裂(见图 11),次梁与框架梁搭接处出现裂缝,缝宽约 3mm(见图 12),其余未见主体结构发生明显破坏。



图 11 楼梯平台处拉裂

Fig. 11 Tensile cracking at stair platform



图 12 次梁与框架梁交界处开裂

Fig. 12 Cracking at junction of secondary beam and frame beam

2.3 围护结构调查

①/④~⑧轴填充墙沉降开裂,整体向外歪闪,沉降裂缝呈东高西低走势,缝宽约 40mm;填充墙与①/④轴框架柱脱开,缝宽 60mm;⑧/①~②轴填充墙及窗间墙沉降开裂,裂缝呈南高北低走势,缝宽约 5mm;室内 150mm 厚混凝土硬化地面沉降开裂破坏(见图 13~15)。



图 13 室内地面沉降开裂

Fig. 13 Settlement and cracking for indoor ground

3 建筑物勘察检测及安全性鉴定

3.1 场地与地基勘察

由于该建筑物场地发生较严重滑坡,土体开裂、松动且处于不稳定状态,人工开挖探井风险较大,故采用工程钻探方式进行现场勘察,工程钻探采用 DPP-100-3B 型工程车装钻机 1 台,螺旋钻头



图 14 填充墙与框架柱脱开

Fig. 14 Detachment between infilled wall and frame column



图 15 填充墙沉降开裂

Fig. 15 Settlement and cracking for infilled wall

低压高速钻进,配以 120mm 黄土薄壁无衬取土器,静压采取不扰动土样,土试样质量等级为 I 级。

本次勘察沿建筑物周边及角点共布置勘探点 4 个,勘探点间距 7.50~25.50m,孔深 9.0~23.0m。勘探点平面布置如图 16 所示。

由钻探结果可知,勘探深度范围内自上而下划分为 6 个工程地质层:①杂填土(Q_4^{ml}),层厚 1.30~2.50m,杂色,以黏性土类为主,土质不均匀,含大量

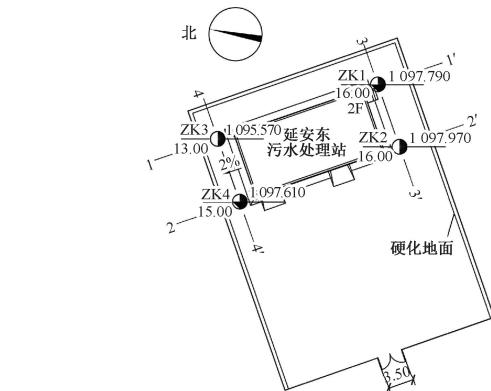


图 16 勘探点布置平面(单位:m)

Fig. 16 Layout plan of exploration points(unit:m)

灰渣和少量碎砖块,土体稍湿,呈松散状;②素填土(Q_4^{ml}),层厚 1.20~1.90m,黄褐色,主要由粉土、粉质黏土组成,土质不均匀,土体湿,呈可塑状;③素填土(Q_4^{ml}),层厚 5.90~8.90m,浅黄色,主要由粉土、粉质黏土组成,土质不均匀,很湿,软塑状;④粉质黏土(Q_2^{pl}),层厚 1.00~2.10m,红褐色,土质较均匀,刀切面光滑,韧性中等,干强度高,局部含零星铁锰质斑点,稍湿,硬塑状;⑤泥岩(T3),层厚 0.70~1.20m,灰褐色,全风化,原岩结构构造已完全破坏,岩芯呈砂土状,岩质极软,手捏易碎;⑥砂岩(T3),层厚 1.80m,灰黄色,强风化,砂质结构,中厚层状构造,局部夹薄层状泥岩。

对钻探土体一般物理力学性质进行试验,试验结果如表 1 所示。受检建筑物钻探区域土体主要成

表 1 土工试验结果

Table 1 Soil test results

土样编号	土分类	含水率 W/%	饱和度 S_r /%	天然密度 ρ_0 / ($g \cdot cm^{-3}$)	干密度 ρ_d / ($g \cdot cm^{-3}$)	液限 W_L /%	塑限 W_p /%	塑性指 数 I_P	液性指 数 I_L	压缩系数 a/MPa^{-1}
001-01	粉土	22.4	84	1.92	1.57	23.9	15.3	8.6	0.83	0.19
001-02	粉质黏土	21.8	79	1.89	1.55	31.5	19.0	12.5	0.22	0.16
001-03	粉质黏土	24.2	82	1.87	1.51	30.8	18.7	12.1	0.45	0.25
001-04	粉土	20.1	92	2.04	1.70	25.4	16.0	9.4	0.44	0.14
001-05	粉土	19.3	88	2.02	1.69	26.1	16.4	9.7	0.30	0.10
001-06	粉质黏土	20.2	78	1.92	1.60	32.4	19.5	12.9	0.05	0.17
001-07	粉土	22.9	88	1.95	1.59	25.2	15.9	9.3	0.75	0.23
001-08	粉质黏土	21.0	92	2.03	1.68	31.7	19.1	12.6	0.15	0.19
002-01	粉质黏土	24.5	84	1.88	1.51	29.2	17.9	11.3	0.58	0.29
002-02	粉土	24.2	86	1.91	1.54	25.1	15.9	9.2	0.90	0.25
002-03	粉土	22.3	86	1.94	1.59	23.3	15.0	8.3	0.88	0.22
003-01	粉质黏土	25.7	90	1.92	1.53	28.2	17.4	10.8	0.77	0.26
003-02	粉质黏土	27.8	97	1.95	1.53	29.0	17.8	11.2	0.89	0.33
004-01	粉质黏土	31.8	97	1.89	1.43	29.8	18.2	11.6	1.17	0.41
004-02	粉质黏土	25.1	88	1.91	1.53	26.1	15.3	10.8	0.91	0.25
004-03	粉质黏土	22.3	79	1.88	1.54	32.3	19.4	12.9	0.22	0.19
004-04	粉质黏土	20.5	81	1.95	1.62	34.6	20.6	14.0	-0.01	0.14

分为粉质黏土和粉土。目前状态下,经暴雨冲刷及渗透后土体含水率升高,最大含水率达 31.8%,最小含水率为 19.3%,平均含水率 23.5%;最大饱和度为 97%,最小饱和度为 78%,平均饱和度为 86.9%;当前状态下土体含水率过高,处于饱和状态。压缩系数最大值为 0.41、最小值为 0.1、平均值为 0.227,为中压缩性土;液性指数为 0.05~1.17,地基土处于可塑~流塑状态。综合以上结果,目前状态下地基土及场地土物理力学性质较差,不适用于继续承载。

3.2 主体结构检测

根据 GB/T 50344—2019《建筑结构检测技术标准》^[5],现场采用回弹仪对混凝土抗压强度进行检测,采用电磁感应法对混凝土构件钢筋配置进行检测,并对该建筑物轴线尺寸、构件截面尺寸和楼层层高进行复核。根据检测结果,受检混凝土构件抗压强度达到 30MPa,建筑轴线尺寸、构件截面尺寸、楼层层高和钢筋配置均符合原设计要求。

根据 JGJ 8—2016《建筑变形测量规范》^[6],采用 DSZ2 型水准仪对该建筑物的相对不均匀沉降和建筑物周边场地沉降进行检测。以室外硬化地面为基准点(图 17 中 BM 点),建筑物柱根和周边场地为水准测量点,测点布置如图 17 所示,观测结果如表 2 所示。

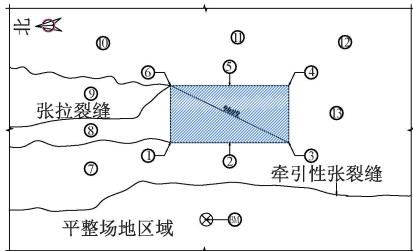


图 17 沉降测点布置平面

Fig. 17 Layout plan of settlement monitoring points

表 2 相对不均匀沉降实测结果

Table 2 Measured results of relative uneven

项目	测点						mm
	BM	1	2	3	4	5	
建筑物实测值	1 214	2 139	1 625	1 635	1 774	2 455	3 254
建筑物相对沉降结果	0	-925	-411	-421	-560	-1 241	-2 040
项目	测点						mm
	7	8	9	10	11	12	
场地实测值	2 110	2 487	3 435	4 235	3 699	2 400	2 022
场地相对沉降结果	-896	-1 273	-2 221	-3 021	-2 485	-1 186	-808

通过对该建筑物的相对不均匀沉降检测可知,

该建筑物相对于平整场地最大沉降量为 2 040mm,相邻测点间沉降差最大为 1 115mm,远大于 GB 50007—2011《建筑地基基础设计规范》^[7]中第 5.3.4 条关于框架结构相邻柱基 $0.002l$ (l 为相邻柱基的中心距离,单位为 mm) 的沉降差允许值要求。受检建筑物周边场地相对于平整场地最大沉降量为 2 485mm,场地整体向东北角下沉。

选取具备检测条件的①/Ⓐ柱和⑤/Ⓑ柱外墙转角,采用 DT402L 型电子经纬仪对房屋的整体倾斜情况进行了检测。通过测量①/Ⓐ柱和⑤/Ⓑ柱上、下两端的水平偏距推算房屋整体的倾斜率,该建筑物南北方向的最大倾斜值为 375mm,东西方向的最大倾斜值为 415mm,不满足 GB 50144—2019《工业建筑可靠性鉴定标准》^[8]规定的限值要求 ($H/750 = 10.8\text{mm}$)。

3.3 安全评估

结合 3.2 节现场检测结果和原设计图纸,采用 YJK 软件对该建筑物原设计下承载力进行验算(不考虑变形)。经验算,该建筑物上部主体结构和独立基础配筋及抗冲切承载力满足规范要求。

依据《工业建筑可靠性鉴定标准》^[8],该建筑物相邻测点间的沉降差远超出《建筑地基基础设计规范》^[7]规定的允许值,且建筑物场地整体向东北侧滑动,当前尚未稳定,地基基础评为 D 级;上部主体结构承载功能和整体性基本满足要求,上部承重结构评为 B 级;该建筑物的非承重墙部分发生严重沉降开裂,外侧门窗部分发生明显变形,围护结构系统评为 D 级。

依据 JGJ 125—2016《危险房屋鉴定标准》^[9],由于该建筑物相邻测点间的沉降差远超规范限值,上部主体结构连接节点因沉降变形产生开裂,地基不稳定产生滑移且仍有继续滑动迹象,该建筑物地基应评定为危险状态,因此该建筑物整体评定为 D 级危房。

综合以上对各结构系统的评定结果,最终评定该建筑物安全性等级为四级,极不符合国家现行标准的安全性要求,已严重影响整体安全;该建筑物危险性等级为 D 级。

4 建筑物变形及开裂原因分析

结合现场调查、取样检测、结构损伤形态分析、地质勘察及承载力验算,综合评定该建筑物出现变形及开裂的主要原因为:受检建筑物场地地貌单元属于黄土高原山体斜坡地貌单元前缘,地形起伏大,原黄土斜坡较陡;此外,该地区属于冻土地区,冻土层厚度约 1.5m,建筑物东侧场地土因冻胀产生

大量裂隙,当发生持续性强降雨时,一部分雨水将表层土体冲刷带走,部分雨水沿冻胀裂隙下渗进入场地及边坡深层土体内部,破坏了土体的原有分子结构,使得深层土体饱和、自重增大、抗剪强度严重降低,雨水冲刷力与土体沿斜坡向下分力的合力大于土体的抗剪承载力时,导致土体斜坡面失衡,坡体沿坡内一定部位的“面”或“带”发生整体滑动,从而形成推移式主滑带,产生大的破坏和变形,主裂缝穿过建筑物与南北方向呈45°夹角。

滑坡体发生滑动时,建筑物复合地基(灰土挤密桩)因失去侧向支撑形成断断续续的牵引性张裂缝,建筑物地基处于不稳定状态,向东北方向发生严重倾斜和沉降,造成该建筑物主体结构、填充墙体、室内地面、周边散水等出现严重破坏。

5 处理建议

1) 该建筑物整体评定为D级危房,需立即停止使用。由于具有一定的修缮价值,后续对该建筑物进行修缮和加固处理。

2) 该建筑物场地破坏严重,为阻断滑坡对场地的持续影响,增加滑坡体抗滑力,可在滑坡体处设置抗滑桩(见图18)。抗滑桩可采用悬臂式钢筋混凝土桩,桩底需穿透滑动面进入稳定岩层,通过桩体阻挡滑坡体,避免其继续影响场地及房屋地基基础。此外,在坡顶设置截水沟,将雨水引向远离房屋和坡体的方向;场地内设置降水井,做好定期抽水,降低地下水位,并对滑坡体变形和位移进行长期监测。

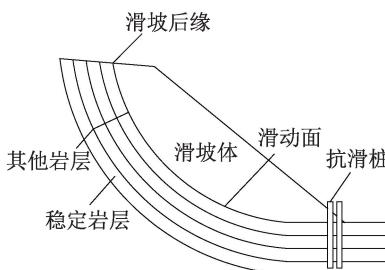


图 18 抗滑桩布置

Fig. 18 Layout of anti-slide piles

3) 由于该建筑物主体结构变形严重,且地基处于不稳定状态,建议采用顶升法进行纠偏。可采用坑式静压钢管桩托换加固地基,每根静压钢管桩达到设计控制压力或要求桩长并保持稳定后进行托换并填入细石微膨胀混凝土,全部坑式静压钢管桩施工完成后,以静压钢管桩提供反力对主体结构进行纠偏,坑式静压钢管桩做法如图19所示。

此外,该建筑物开裂的混凝土构件和围护墙体可采用纤维复合材料与钢筋网水泥砂浆进行加固

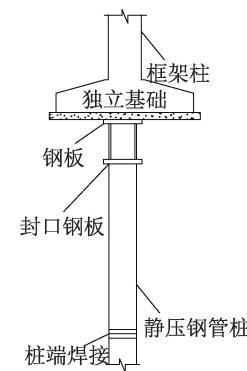


图 19 坑式静压钢管桩做法

Fig. 19 Construction method of pit-type jacked steel pipe piles

处理。

参考文献:

- [1] 邱斌,赵宝生,胡韶懿,等.现浇混凝土楼面开裂分析[J].建筑结构,2019,49(24):113-118,124.
QIU B,ZHAO B S,HU S Y,et al. Cracking analysis of cast-in-place concrete floor[J]. Building structure,2019,49(24):113-118,124.
- [2] 叶灵鹏.某图书馆建筑的检测评估及其悬挑梁开裂原因分析与加固[D].杭州:浙江大学,2016.
YE L P. The detection and evaluation of a library building and the analysis and reinforcement of the cantilever beams with cracks [D]. Hangzhou:Zhejiang University,2016.
- [3] 赵仕礼.三峡库区某滑坡治理后场地开裂变形的原因分析[J].西部探矿工程,2007,19(8):7-9.
ZHAO S L. Cause analysis of site cracking and deformation after treatment of a landslide in the Three Gorges reservoir area[J]. West-China exploration engineering,2007,19(8):7-9.
- [4] 杨成,韩力,李罡烨,等.某山地建筑主体结构及场地开裂原因探究[J].低温建筑技术,2024,46(11):63-67.
YANG C,HAN L,LI G Y,et al. Investigation of the causes of cracking in the main structure and site of a mountain building[J]. Low temperature architecture technology, 2024, 46(11):63-67.
- [5] 中国建筑科学研究院有限公司.建筑结构检测技术标准:GB/T 50344—2019[S].北京:中国建筑工业出版社,2020.
China Academy of Building Research. Technical standard for inspection of building structure: GB/T 50344—2019[S]. Beijing: China Architecture & Building Press,2020.
- [6] 建设综合勘察研究设计院有限公司,安徽同济建设集团有限责任公司.建筑变形测量规范:JGJ 8—2016[S].北京:中国建筑工业出版社,2016.
CIGIS(China) Limited, Anhui Tongji Construction Group Co., Ltd. Code for deformation measurement of building and structure: JGJ 8—2016 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press,2016.
- [7] 中国建筑科学研究院.建筑地基基础设计规范:GB 50007—2011[S].北京:中国计划出版社,2012.

(下转第108页)

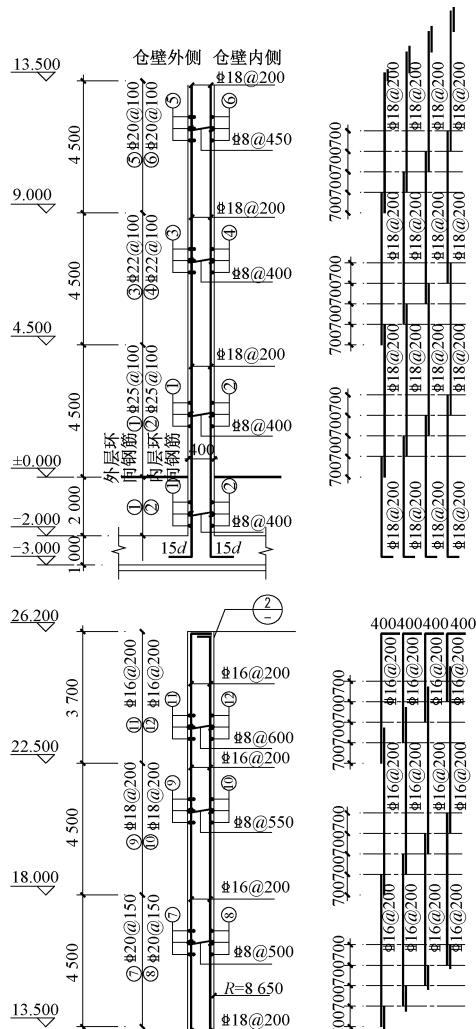


图 10 计算配筋

Fig. 10 Reinforcement calculation

基础,在原砖砌筒仓内仓壁表面浇筑钢筋混凝土剪力墙,将砖仓壁和圈梁共同承受环向拉力的方式转变为钢筋混凝土仓壁承受方式,通过环向钢筋配筋面积计算确保环向承载力满足要求。

参考文献:

- [1] 崔元瑞. 我国贮料构筑物建设的发展与回顾[J]. 特种结构, 2000, 17(1): 8-68.
- CUI Y R. The review and development of the construction of storage structure[J]. Special structures, 2000, 17(1): 8-68.
- [2] 李彦辉, 郭治, 安国旗, 等. 某原料筒仓框架柱裂缝原因分析[J]. 特种结构, 2020, 37(6): 42-47.
- LI Y H, GUO Z, AN G Q, et al. Cracking reason analysis for columns in raw material silo [J]. Special structures, 2020, 37(6): 42-47.
- [3] 车颖文. 筒仓的受力情况和稳定性研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2011.
- CHE Y W. Study on stress and stability of silo [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2011.
- [4] 陈晓, 王钦. 砖混结构圆形筒仓仓壁的结构设计[J]. 山东建材学院学报, 1998, 12(3): 278-280, 283.
- CHEN X, WANG Q. Structural design of circular silo wall with brick-concrete structure [J]. Journal of Shandong Institute of Building Materials, 1998, 12(3): 278-280, 283.
- [5] 卢亦焱, 肖羚玮. 钢筋混凝土水泥筒仓损伤检测与有限元分析[J]. 特种结构, 2018, 35(6): 60-65.
- LU Y Y, XIAO L W. Structural damage detection and finite element analysis of reinforced concrete cement silo [J]. Special structures, 2018, 35(6): 60-65.
- [6] 李刚, 岳国君, 孙雨生. 某散装豆粕筒仓工程裂损原因浅析[J]. 工程抗震与加固改造, 2022, 44(3): 168-172.
- LI G, YUE G J, SUN Y S. Analysis on cracking causes of a silo project for bulk soybean meal [J]. Earthquake resistant engineering and retrofitting, 2022, 44(3): 168-172.
- [7] 潘立. 混凝土圆形筒仓结构设计与施工若干问题的研究[J]. 建筑科学, 2010, 26(11): 66-69, 44.
- PAN L. Research on some problems in structural design and construction of independent cylinder concrete silos [J]. Building science, 2010, 26(11): 66-69, 44.
- [8] 中国建筑科学研究院有限公司. 建筑结构检测技术标准: GB/T 50344—2019[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2020.
- China Academy of Building Research. Technical standard for inspection of building structure: GB/T 50344—2019 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2020.
- [9] 全国贮藏构筑物标准技术委员会. 砖砌圆筒仓技术规范: CECS 08:89[S]. 1989.
- National Technical Committee for Storage Structure Standards. Technical code for brick silo: CECS 08:89 [S]. 1989.
- [10] 中煤科工集团北京华宇工程有限公司. 钢筋混凝土筒仓设计标准: GB 50077—2017[S]. 北京: 中国计划出版社, 2018.
- Beijing Huayu Engineering Co., Ltd., China Coal Technology & Engineering Group. Standard for design of reinforced concrete silos: GB 50077—2017 [S]. Beijing: China Planning Press, 2018.

(上接第 103 页)

China Academy of Building Research. Code for design of building foundation: GB 50007—2011 [S]. Beijing: China Planning Press, 2012.

- [8] 中冶建筑研究总院有限公司, 福建华航建设集团有限公司. 工业建筑可靠性鉴定标准: GB 50144—2019[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.
- Central Research Institute of Building and Construction Co., Ltd., Fujian Huahang Construction Group Co., Ltd. Standard for appraisal of reliability of industrial buildings and structures: GB 50144—2019 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2019.
- [9] 上海市房地产科学研究院, 舜元建设(集团)有限公司. 危险房屋鉴定标准: JGJ 125—2016[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
- Shanghai Real-estate Science Research Institute, Shunyuan Construction (Group) Co., Ltd. Standard for dangerous building appraisal: JGJ 125—2016 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2016.