

DOI:10.20035/j.issn.1671-2668.2025.01.011

引用格式:唐焱,张泾,毓玉标.逆作人工挖孔桩板式挡墙设计应用研究[J].公路与汽运,2025,41(1):50-53+131.

Citation:TANG Yan,ZHANG Jing,GUO Yubiao.Application research and design of pile-plate retaining wall by artificial excavation in reverse[J].Highways &amp; Automotive Applications,2025,41(1):50-53+131.

# 逆作人工挖孔桩板式挡墙设计应用研究

唐焱<sup>1</sup>,张泾<sup>1</sup>,毓玉标<sup>2</sup>

(1.中冶长天国际工程有限责任公司,湖南长沙 410205;2.湖南省交通规划勘察设计院有限公司,湖南长沙 410205)

**摘要:**针对放坡空间有限的高边坡垂直开挖难以采用常规支挡结构的问题,进行逆作人工挖孔桩板式挡墙应用研究,采用地基系数法进行桩身内力分析,完成桩板式挡墙支护设计。结果表明,桩身截面尺寸、桩身配筋、边坡稳定性及地面水平位移均满足规范要求,对于路堑施工时放坡空间有限的高边坡,逆作人工挖孔桩板式挡墙较适用;桩身全长范围内力变化较大,实际应用中可采用变截面及分段配筋设计,并采用动态设计及信息化施工,加强施工过程监测。

**关键词:**公路;高边坡;人工挖孔;桩板式挡墙;地基系数法

中图分类号:U416.14

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2025)01-0050-04

桩板式挡墙是一种广泛应用于路基、边坡、港口、基坑、滑坡等工程的支挡结构<sup>[1-4]</sup>,它主要利用桩前稳定地层的被动土压力来平衡桩后主动土压力或滑坡推力,同时采用挡土板抵抗桩间水平土压力。与其他挡墙如重力式挡墙、扶壁式挡墙、锚杆挡墙等相比,具有抵抗力强、适用条件广泛、稳定性好、施工安全简便、能逐步核实地质情况等优点。黄新雨采用抗滑桩板式挡墙结合柔性支护对广昆(广州—昆明)高速公路南宁—百色段膨胀土进行了处置<sup>[5]</sup>。目前对桩身内力的计算方法进行了广泛研究,结合工程实践,取得了诸多理论成果,较成熟的有悬臂桩法、地基系数法、有限元法等<sup>[6-10]</sup>。其中地基系数法相对简单,应用也较多,其理论是把整根桩身作为弹性地基梁来处理,计算结果与桩身的实际受力状况较接近。根据不同地层情况,地基系数法又分为k法、m法、c法等。本文依托实际工程项目,根据工程特点、使用要求、地形及施工条件等,采用地基系数法进行桩板式挡墙设计,为同类工程提供参考。

## 1 工程概况

某矿业公司技术改造项目的局部场地,自然边坡高度为8~18 m,坡顶为厂区道路,受场地使用条件限制,需开挖边坡局部范围土体建设中间缓冲堆场。缓冲堆场设计标高为517.2 m,堆场周边设置挡墙,挡墙高度为0~9 m,墙后通过放坡接至坡顶

道路,坡顶道路标高为535.0 m。由于缓冲堆场施工无法采取放坡大开挖及边坡高度较大,常规支挡方案难以满足要求,通过方案比选,确定采用桩板式+仰斜式挡墙方案。施工时进行人工挖孔灌注桩施工,然后采用逆作法逐步开挖墙前土体,挡墙总长约82 m,呈U形分布(见图1)。桩板式挡墙段共设13根人工挖孔桩,桩身悬臂高4~9 m,因其后放坡空间有限,设计采用喷播植草+格构锚杆防护。



图1 挡墙平面布置示意图(单位:m)

## 2 设计条件

### 2.1 技术条件

该项目开挖后形成的人工边坡为土质边坡,参

考 GB 50330—2013《建筑边坡工程技术规范》<sup>[11]</sup>, 坡顶道路荷载等级为汽-20 级,按永久性边坡设计;综合考虑矿区自身特点,边坡安全等级取二级,设计使用年限为 50 年。

## 2.2 工程及水文地质

根据边坡专项勘察报告,拟建挡墙所在地区地

层自上而下主要为人工填土、粉质黏土、强风化砂岩、中风化砂岩,挡墙设计范围内地层起伏变化较大,场地内及场地周边无地质灾害及不良地质作用。各地层设计参数建议值见表 1。

场地及周边未见明显地表水,地下水主要为基岩裂隙水及上层滞水,地下稳定水埋深为 13.10~

表 1 岩土设计参数建议值

地层	天然密度/ ( $g \cdot cm^{-3}$ )	饱和重度/ ( $kN \cdot cm^{-3}$ )	黏聚力/kPa		内摩擦角/( $^{\circ}$ )		承载力 特征值/ kPa	较完整岩层 地基系数/ ( $kN \cdot m^{-3}$ )	土质地基系数/ ( $kN \cdot m^{-4}$ )	地基土水平抗力 系数的比例系数/ ( $MN \cdot m^{-4}$ )
			直接 快剪	饱和 快剪	直接 快剪	饱和 快剪				
人工填土	2.00*	—	3.00*	2.25*	40.00*	30.00*	120	—	—	—
粉质黏土	1.87*	19*	25.00*	18.75*	17.00*	12.75*	160	—	2 000	20
强风化砂岩	1.98*	20*	50.00*	37.50*	30.00*	22.50*	500	—	11 000	200
中风化砂岩	—	—	80.00*	60.00*	40.00*	30.00*	2 000	180 000	—	—

注: \* 表示根据地区经验确定;较完整岩层地基系数和土质地基系数根据地区经验及 GB 50330—2013《建筑边坡工程技术规范》<sup>[11]</sup>确定;地基土水平抗力系数的比例系数根据地区经验及 JGJ 94—2008《建筑桩基技术规范》<sup>[12]</sup>确定。

26.10 m,地下水年度变化幅度为 1.00~2.00 m。深部基岩裂隙水为微承压水,主要靠上部土层渗透补给,通过地层下渗、径流等方式排泄;上层滞水主要赋存于人工填土中,主要靠大气降水、水道等地表水补给,排泄条件较好,季节性水位变化明显。

## 2.3 场地和地基的地震效应

参考 GB 50223—2008《建筑工程抗震设防分类标准》<sup>[13]</sup>,挡墙抗震设防类别设为丙类(标准设防)。拟建场地位于广东省始兴县,根据 GB 50011—2010《建筑抗震设计规范》(2016 版)<sup>[14]</sup>,抗震设防烈度为 6 度,建筑场地类别为 II 类,设计基本地震加速度为 0.05g,设计地震分组为第一组,地震加速度反应谱特征周期为 0.35 s。根据 GB 50330—2013《建筑边坡工程技术规范》<sup>[11]</sup>,挡墙的抗震设防烈度为 6 度,可不进行地震作用计算,只需采取相应抗震构造措施。

## 2.4 原始边坡稳定性评价

原边坡为自然山体,坡度为  $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ ,坡面植被稍发育,坡体表面土层主要由坡积土、强风化岩组成。受台风影响,该地区强降雨较多,近 20 年平均降雨量为 1 640 mm,其中 4—8 月为丰水期,降雨量约占全年的 65%。因降雨集中,易造成地下水动态变化较大,从而改变边坡土体的应力状态。边坡稳定性评价结果表明,边坡现处于稳定状态,在暴雨工况下处于欠稳定状态。

## 3 挡墙设计计算

根据边坡勘察报告,按照安全、经济、合理等原则,考虑到施工场地条件限制,通过方案比选,确定采用桩板式+仰斜式挡墙方案。同时,由于墙后边坡放坡空间有限,设计采用喷播植草+格构锚杆防护。限于篇幅,以下仅介绍桩板式挡墙设计。

### 3.1 挡墙方案

挡墙范围内共设 13 根悬臂桩,悬臂长度为 4~9 m;桩身为人工挖孔矩形截面钢筋混凝土灌注桩,截面尺寸分别为 3.5 m×3.5 m、2.0 m×3.5 m、1.5 m×2.5 m,其中 3.5 m×3.5 m 桩身设在转角位置,桩身间距为 4~5 m,根据不同地质情况,桩长设为 13~25 m。计算时选取截面尺寸为 2.0 m×3.5 m 的典型桩身进行分析,图 2 为该截面桩身受力最不利状况,此时桩身悬臂长 9 m,桩总长 25 m,本文桩身设计计算均以该桩为例。人工挖孔桩钢筋

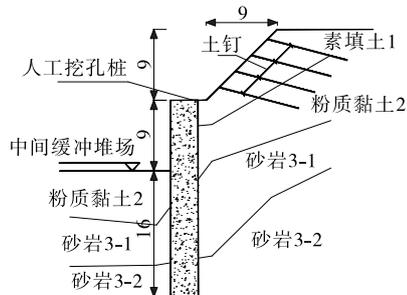


图 2 桩身最不利受力状况(单位:m)

混凝土护壁厚 30 cm, 节段高度 100 cm; 桩间挡土板采用现浇钢筋混凝土板, 板厚 30 cm, 节段高度 150 cm。

### 3.2 桩板式挡墙计算

该项目施工顺序为先采用人工挖孔护壁施工钢筋混凝土桩身, 再自上而下采用逆作法分层开挖边坡土体并现浇挡土板。为简化计算, 设计时按桩前土体一次开挖到设计标高、桩顶边坡完成 1:1 护坡进行计算。悬臂段桩身内力根据桩后边坡土压力并考虑坡顶汽车荷载进行计算, 桩身荷载计算宽度为左右两桩桩心距离各 50% 的和。嵌入段以下部分桩身内力采用地基系数法中的 m 法计算, 相关参数取值见表 1, 桩底支承按铰支端考虑。

考虑到该边坡为永久性边坡, 安全等级为二级,

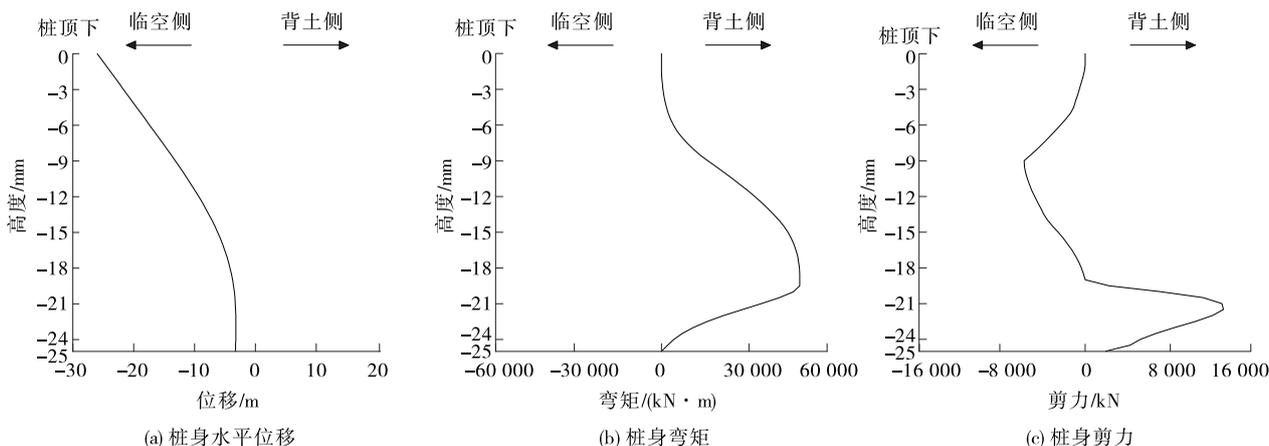


图 3 桩身内力及位移计算结果

边坡稳定性计算结果显示: 穿过桩身的潜在滑动面及过桩身底端的潜在滑动面的边坡整体稳定安全系数远大于 1.30, 雨季饱和工况下边坡仍处于稳定状态; 桩后 1:1 土体边坡的局部稳定安全系数小于 1.05, 通过格构锚杆+喷播植草防护提高其稳定性。

挡土板荷载取各节段相应高度范围的主动土压力, 不考虑土拱效应, 荷载宽度取板的计算跨度, 两端支承为铰接。考虑到挡土板安全等级可适当降低, 设计时按一般工况下荷载效应基本组合计算挡土板的内力、配筋。计算结果表明: 板后最大土压力为 175 kPa, 单块板跨中最大弯矩为 274 kN·m。因挡土板配筋及验算较简单, 不详细展开, 下文也省略。

一般工况下荷载效应标准组合时地基最大土反力为 1 681.92 kPa, 土反力最大位置距离桩顶

边坡较高, 同时受集中强降雨和地下水影响较大, 分别取一般工况和雨季饱和工况<sup>[10]</sup>进行分析。按一般工况下荷载效应准永久组合计算桩身位移, 按一般工况下荷载效应标准组合确定桩身埋深; 按雨季饱和工况下荷载效应基本组合计算桩身内力、配筋, 按雨季饱和和工况下荷载效应基本组合(分项系数均为 1.0)计算边坡稳定性。

采用理正计算软件进行计算, 得到图 3 所示桩身位移及内力。由图 3 可知: 一般工况下荷载效应准永久组合时桩顶最大位移为 23 mm。雨季饱和和工况下荷载效应基本组合时桩身背土侧最大弯矩为 47 504.68 kN·m, 弯矩最大位置距离桩顶 19.00 m; 桩身最大剪力为 12 974.84 kN, 剪力最大位置距离桩顶 21.50 m。

20.00 m, 相应高度处土层为中风化砂岩。

### 3.3 桩身配筋及验算

#### 3.3.1 桩身配筋计算

桩身截面尺寸为 2.0 m×3.5 m, 安全等级为二级, 嵌入段桩的计算宽度  $B_p = b + 1 = 3$  m ( $b$  为矩形桩的设计宽度), 桩身采用 C35 混凝土。基本组合下最大弯矩设计值为 47 504.68 kN·m, 所需受拉钢筋面积为 43 959 mm<sup>2</sup>, 配置 55 根  $\phi 32$  mm 钢筋, 钢筋面积  $a_s = 44 231$  mm<sup>2</sup> > 43 959 mm<sup>2</sup>。考虑到桩身弯矩变化较大, 为充分发挥钢筋的抗拉性能, 受拉主筋采用分段式配筋。基本组合下最大剪力设计值为 12 974.84 kN, 所需箍筋面积为 5 856 mm<sup>2</sup>/m, 配置 4 肢  $\phi 18$  mm 箍筋, 间距 150 mm, 箍筋面积  $a_{sv} = 6 786.67$  mm<sup>2</sup>/m > 5 856 mm<sup>2</sup>/m。考虑到桩身剪力变化较大, 为充分发挥箍筋的抗剪性能, 箍筋采用分段式配筋。桩身两侧和受压边纵向钢筋均按构造

配筋设计。桩身截面最终配筋见图 4。

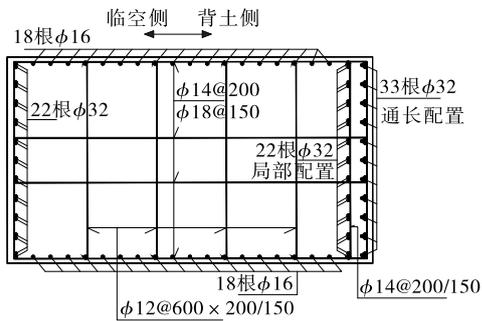


图 4 桩身配筋示意图(单位:mm)

### 3.3.2 嵌固深度验算

根据 GB 50330—2013, 桩身嵌入岩层时, 应满足下式:

$$\sigma_{\max} \leq f_H$$

式中:  $\sigma_{\max}$  为桩身最大横向压应力, 即地基最大土反力 1 681.92 kPa;  $f_H$  为地基横向承载力特征值, 对于矩形截面桩,  $f_H = K_H \eta f_{rk}$ ;  $K_H$  为岩层水平方向的换算系数, 取 0.6;  $\eta$  为折减系数, 取 0.4;  $f_{rk}$  为岩石单轴极限抗压强度标准值, 根据边坡专项勘查报告,  $f_{rk} = 23$  MPa。

计算得  $f_H = 5\ 520$  kPa  $> 1\ 681.92$  kPa, 桩身嵌固深度满足计算要求。嵌固段长度为 16 m, 为桩总长的 1/1.56, 满足悬臂桩嵌固深度不小于桩长的 1/4~1/3 的构造要求。

### 3.3.3 桩身位移及裂缝宽度验算

一般工况下荷载效应准永久组合时桩顶最大位移为 23 mm, 嵌固段顶端地面处的水平位移为 10 mm, 满足 GB 50330—2013 中水平位移不宜大于 10 mm 的要求。该桩按受弯构件设计, 无特殊要求, 根据 GB 50330—2013, 可不进行裂缝宽度验算。

## 4 施工及监测要点

(1) 待所有桩身达到设计强度后分层开挖桩前土体, 同时采用逆作法现浇桩间挡土板。

(2) 将桩身一定范围内场地整平至桩顶设计标高后, 及时做好桩顶坡面临时护坡及排水措施, 且坡顶不得随意堆载, 以保证墙后临时边坡在施工阶段的稳定。

(3) 桩身采用跳挖的方式施工(随挖随灌), 从两端向中间开挖, 成孔间隔 2 个以上孔位。桩身锁口 2 m 范围内不得堆载。

(4) 桩身混凝土应连续灌注, 不得形成水平施

工缝。同时按大体积混凝土施工要求采取措施降低水化热, 所有桩身均进行完整性检测。

(5) 采用信息化施工, 灌注桩身混凝土前按要求预埋传感器, 施工期及运营期加强对桩身钢筋拉应力、控制点位移、墙后边坡顶部水平位移、垂直位移及地表裂缝的监测。

## 5 结论

(1) 对于场地受限的边坡、基坑等, 采用逆作人工挖孔桩板式挡墙, 能解决场地受限的问题, 其应用前景广阔。

(2) 采用地基系数法计算桩身内力及位移较便捷, 计算结果明确, 方便进行设计。但因岩土体设计参数的不确定性、桩身自有非线性及桩土共同作用效应的不明确性, 未来还需进行大量关于桩身实际作用原理及效果研究。

(3) 桩身全长范围内内力变化较大, 应本着经济合理、安全可靠的原则进行精细化设计。

(4) 桩身施工过程中作业人员安全、桩身施工质量保障极其重要, 须采用动态设计及信息化施工、严格控制桩顶附近堆载、做好坡面临时截水和排水措施、加强施工监测, 通过实际监测数据与设计理论值的比较, 及时修正设计, 并指导施工。

### 参考文献:

- [1] 李大纪, 卢洲云. 基于 MIDAS/GTS 数值模拟分析的某边坡桩板墙优化设计[J]. 西部交通科技, 2017(11): 9-13.
- [2] 方光秀, 王少东, 赵石范. 高层建筑深基坑人工挖孔排桩支护结构的设计与施工[J]. 建筑技术, 2014, 45(3): 249-251.
- [3] 田家升, 刘章龙, 张丰星. 矩形人工挖孔桩在深基坑支护中的应用[J]. 铁道标准设计, 2003, 47(10): 135-136.
- [4] 蒋超, 张明太. 某高边坡桩板式挡土墙施工技术[J]. 工程建设, 2019, 51(12): 74-77.
- [5] 黄新雨. 抗滑桩板式挡墙结合柔性支护在膨胀土中的应用与思考[J]. 西部交通科技, 2018(8): 39-43.
- [6] 刘新荣, 梁宁慧, 黄金国, 等. 抗滑桩在边坡工程中的研究进展及应用[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2006, 17(1): 56-62.
- [7] 吴祥. 基于三维有限元法的边坡抗滑桩设计优化研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2016.
- [8] 戴自航, 张晓咏, 邹盛堂, 等. 现场模拟水平分布式滑坡推力的抗滑桩试验研究[J]. 岩土工程学报, 2010, 32(10): 1513-1518.

(下转第 131 页)

- 究[D].广州:华南理工大学,2012.
- [2] 陈哲.广东高速公路运营风险管理研究[D].广州:华南理工大学,2015.
- [3] 李然.高速公路运营安全风险评价研究[J].交通运输研究,2019,5(1):48-56.
- [4] 王毅.基于 AHP-模糊评价的高速公路经营企业风险评估研究[J].公路交通科技,2017,34(4):154-158.
- [5] 房瑞伟,王长曦,李素兰,等.后疫情时代临空高速公路通行费变化研究[J].公路与汽运,2024,40(6):29-35.
- [6] 陈舞,王浩,张国华,等.基于 T-S 模糊故障树和贝叶斯网络的隧道坍塌易发性评价[J].上海交通大学学报,2020,54(8):820-830.
- [7] 胡圣武,王育红.基于事件树和模糊理论的 GIS 动态地质灾害评估[J].武汉大学学报(信息科学版),2015,40(7):983-989.
- [8] KHAKZAD N, KHAN F, AMYOTTE P. Safety analysis in process facilities: comparison of fault tree and Bayesian network approaches[J]. Reliability Engineering & System Safety, 2011, 96(8): 925-932.
- [9] 王瑜,李勇.基于模糊综合评价的 HOV 车道综合效益分析[J].公路交通科技,2020,37(9):148-158.
- [10] 范峻恺,徐建刚.基于神经网络综合建模的区域城市群发展脆弱性评价:以滇中城市群为例[J].自然资源学报,2020,35(12):2875-2887.
- [11] 吕楠,赵敬源.基于贝叶斯概率理论的物流园区选址优化研究[J].中国公路学报,2020,33(9):251-260.
- [12] Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission. Enterprise risk management: integrated framework[M]. Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission, 2004.
- [13] 国务院国有资产监督管理委员会.中央企业全面风险管理指引:国资发改革[2006]108号[A/OL].(2006-06-06)[2024-07-02].<http://www.sasac.gov.cn/gzjg/qygg/200606200105.htm>.
- [14] XU X B, ZHANG Z, XU D L, et al. Interval-valued evidence updating with reliability and sensitivity analysis for fault diagnosis[J]. International Journal of Computational Intelligence Systems, 2016, 9(3): 396-415.
- [15] BUSTINCE H, BARRENECHEA E, PAGOLA M, et al. A historical account of types of fuzzy sets and their relationships[J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2016, 24(1): 179-94.
- [16] SANZ J A, FERNANDEZ A, BUSTINCE H, et al. IVTURS: A linguistic fuzzy rule-based classification system based on a new interval-valued fuzzy reasoning method with tuning and rule selection[J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2013, 21(3): 399-411.
- [17] ZHANG L M, WU X G, QIN Y W, et al. Towards a fuzzy Bayesian network based approach for safety risk analysis of tunnel-induced pipeline damage[J]. Risk Analysis, 2016, 36(2): 278-301.
- [18] HUANG Y, LI T, LUO C, et al. Dynamic fusion of multi-source interval-valued data by fuzzy granulation[J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2018, 26(6): 3403-3417.
- [19] JIAO Z, GONG H, WANG Y. A D-S evidence theory-based relay protection system hidden failures detection method in smart grid[J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2018, 9(3): 2118-2126.
- [20] 徐建民,王恺霖,吴树芳.基于改进 D-S 证据理论的微博不可信用户识别研究[J].数据分析与知识发现,2022,6(12):99-112.
- [21] 袁志涛,李敏,何子英,等.“平安海区”建设评价指标体系研究:以浙江省为例[J].安全与环境学报,2019,19(6):1884-1891.
- [22] 赵祥模,高赢,徐志刚,等.IntelliWay-变耦合模块化智慧高速公路系统一体化架构及测评体系[J].中国公路学报,2023,36(1):176-201.
- 
- 收稿日期:2024-07-05

\*\*\*\*\*  
(上接第 53 页)

- [9] 唐文卿,贺劲松,张树生.抗滑桩-桩板式挡土墙设计浅析[J].工程建设,2011,43(5):16-20.
- [10] 王洪英.截面形状对桩板墙支护体系受力与变形的影响分析[J].公路与汽运,2021(3):74-77.
- [11] 重庆市城乡建设委员会.建筑边坡工程技术规范:GB 50330—2013[S].北京:中国建筑工业出版社,2013.
- [12] 中国建筑科学研究院.建筑桩基技术规范:JGJ 94—2008[S].北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [13] 中国建筑科学研究院.建筑工程抗震设防分类标准:GB 50223—2008[S].北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [14] 中国建筑科学研究院.建筑抗震设计规范(2016 版):GB 50011—2010[S].北京:中国建筑工业出版社,2016.
- 
- 收稿日期:2023-07-25