

简单山地人防建筑基础稳定性分析与加固

王彬 海南科技职业大学 海南省海口 571126

李欣芸 广东亚视演艺职业学院 广东省肇庆市 526631

戴瑾 江西新能源科技职业学院 江西新余市 338004

【摘要】

简单山地人防建筑类型特殊,建设过程复杂,会对地基稳定性提出更高要求,因此必须做好稳定性分析与加固处理。通过对《建筑地基基础规范设计》进行分析可以看出,如果建筑基础位于边坡位置,需要对地基稳定性进行验算,可使用圆弧滑动面方法。但这种方法无法掌握复杂地层分布桩、土之间的相互作用,降低实施效果。若使用强度折减法,需要结合 ABAQUS 软件对地基稳定性系数进行计算,并对边坡高度等因素、其与地基稳定性系数之间的关系进行深入分析,才可为简单山地人防建筑工程项目提出实质性参考数据。综上,本文主要分析微型钢管桩对简单山地人防建筑基础加固方法,分析、评价加固效果,并提出设计参数与工作建议。这种方法具有良好便捷性、经济性,可将其高效应用于简单山地人防建筑地基基础加固作业中。

【关键词】简单山地人防建筑;地基基础;稳定性分析;加固

前言

近几年来,我国山地步道项目建设规模、数量持续上涨,其配套设施等相应建筑数量随之增加。这种建筑类型可被统称为简单山地建筑,主要采用基础形式包含筏板、独立基础等,地基承载力计算过程难度较低,通过对地基稳定性进行验算,可提高管控效果。

通过对相应规范与标准进行分析可以看出,若想获取精准地基稳定性数值,可利用圆弧滑动面计算方法,明确抗滑力矩、滑动力矩之间比例,判断其稳定安全系数应超过 1.2。

从简单山地人防建筑土质边坡抗剪强度指标角度来说,应依据《建筑边坡工程技术规范》中要求进行确定、选取。通过分析研究确定,可利用刚体极限平衡阀对边坡抗滑移稳定性进行计算,如果边坡具有较为复杂的破坏机制,应使用数值极限分析方法,并取 1.35 作为边坡稳定安全系数。

另外,通过对《山地建筑结构设计标准》进行研究分析可以得出:如果简单山地人防建筑防烈强度处于 7-8 度范围内,应基于罕遇地震对建筑地基边坡稳定性产生的影响因素完成精准验算,并简化滑动方向指向外坡水平静力,公式为: $Q_{Ci} = a_w W_i$ 。

其中 Q_{Ci} 表示基于地震作用下的地基水平静力; a_w 表示边坡综合水平地震系数; W_i 表示单元单位宽度重量,其中还包含坡顶建筑作用系数。

一、简单山地人防建筑基础稳定性分析之圆弧滑动面法

圆弧滑动面法属于极限平衡的一种类型,使用过程中,应首先假设滑动面形状与位置。但如果在简单山地人防建筑建设过程中,地层分布情况较为复杂,或需要考虑桩对土体形成的相互作用,会导致滑动面真实形状与位置更加复杂,若无法保障滑面假定合理性,将会降低边坡真实失效机制捕捉效果,引发计算结果存在偏差,影响简单山地人防建筑建设质量与稳定性。

二、强度折减法

计算机技术应用范围得到拓展,水平大幅提升,对边坡稳定性进行分析过程中,开始积极采用有限元法。相比于极限平衡阀来说,强度折减法可明确表达出边坡岩土体实际应力与应变二者之间存在的关系数值,还不会影响边坡几何形状、材料均匀度,也不必提前对临界

滑移面进行假定，更加精准、真实地反映出坡体失稳与塑性区域实施过程，在边坡稳定性分析方面可获得更佳的效果。

从强度折减法原理方面来看，其会将土体抗剪强度指标设为 c 与 ϕ ，之后使用其与折减系数 F_r 相除，并在有限元内对即折减后的强度值进行计算，利用折减系数变化，确保简单山地人防建筑基础边坡稳定性较高，即便在极限平衡状态下，也可保持良好稳固性。

在该过程中，若要获取折减后抗剪强度指标，可使用公式： $c_m = c/F_r$ 、 $\phi_m = \arctan(\tan \phi / F_r)$ 。

公式中， c 表示土体实际黏结值； c_m 表示基于土体极限平衡状态条件下，折减过后的黏结能力； ϕ 表示土体内摩擦角度； ϕ_m 表示基于土体极限平衡状态下，且完成折减计算后的内摩擦角度； F_r 表示强度折减系数。

通过这种方法，可获取精准有限元数值计算，对基础边坡稳定性系数进行深入分析，进而精准评价边坡失稳性，获取对基础稳定性系数影响的取值。与此同时，还可使用两种判据对边坡稳定性失效进行共同判定：一是对于特征点部位的折减系数，其会与位移曲线一并发生突变[2]；二是塑性区域会存在贯通现象。这类判据具有较高联合性，使用过程渐变，还可满足基础稳定性失效破坏的机理分析需求。

经过对相关文献进行整理分析可以看出，通过使用折减系数法，可获取精准稳定安全系数，相比于 Bishop 方法来说，这种方式计算过程更为渐变，还可降低误差离散度，保障结果精准。

（一）制定算例

某简单山地人防建筑工程项目建设过程中，地基基础形式采取混凝土筏板，基础宽度为： L_c ，长度 10m，基础边与坡顶之间的距离为 L_b ，数值为 5m，边坡角度为 θ ，数值为 45° ；边坡高度为 5m，边坡下的土层厚度为 10m，边坡水平投影长度为 5m。该项目筏板基础值呈现出均匀性荷载分布形式，数值为 100kN/m ，基础持力层属于均匀粉质黏土层，详情见图 1。计算过程中，依据平面应变假定与摩尔-库伦屈服准则。

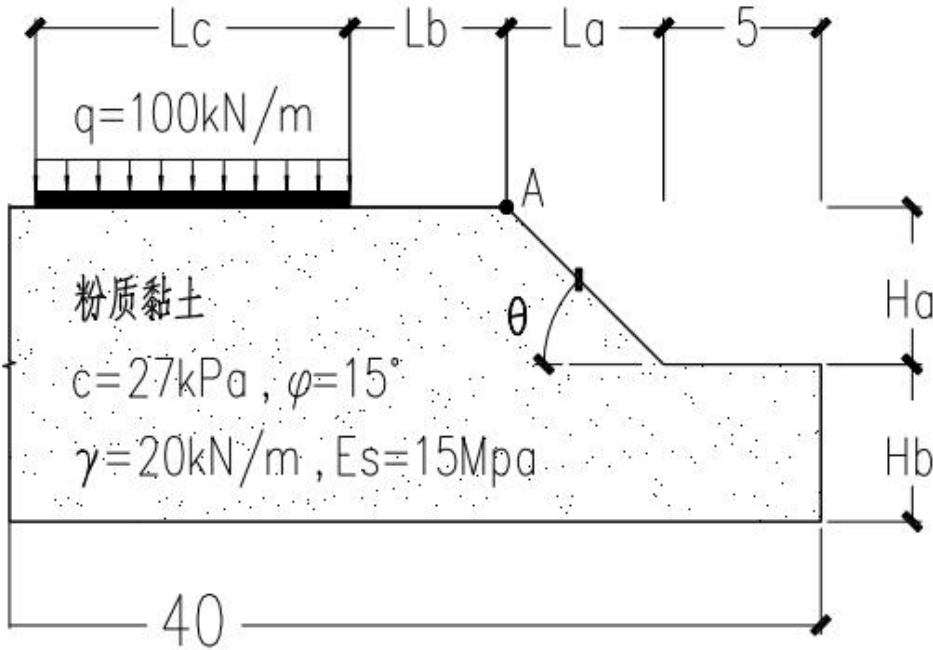


图 1 某简单山地人防建筑基础稳定性强度折减分析法算例剖析图

（二）结果分析

通过使用强度折减法对某简单山地人防建筑基础稳定性进行分析，分别在地震、非地震两种工况条件下进行数值计算，获得折减系数，并绘制基础边坡定点 A 水平方向位移数值示意图与关系曲线图。

经过数值、曲线图对比分析可以看出，①非地震工况条件。当强度折减系数达到 1.71 后，边坡会出现较远的水平位移，土体会产生滑动逐渐失去稳定性，因此可判断某简单山地人防建筑此时的地基边坡稳定安全系数为 1.71。②地震工况。该条件下，地基稳定安全系数数值为 1.33^[3]，是非地震工况的 78.6%。由此可见，地震效应会对简单山地人防建筑基础边坡稳定性产生较大影响，因此在验算过程中，应依据工程实际情况进行计算与分析。

基于极限平衡条件下，简单山地人防建筑基础边坡土体会发生水平位移情况，同时结合等效塑性应变，会表现出特定式的分布形态。经过对分布图进行深入分析，可看出，边坡土体内贯通式的塑性区域由坡脚开始，为圆弧状，且持续向基础内侧端点延伸，滑动体形与圆弧滑动面法相符，且呈现出水平位移状态，满足土地失稳评价标准。

（三）影响因素

通过上文算例解析可以看出，对简单山地人防建筑基础稳定性的主要影响因素包含基础边至坡顶之间的距离、边坡坡脚、高度、基础宽度等。为获取精准影响因素取值，需要在非地震、地震工况基础上，验算简单山地人防建筑地基边坡稳定性系数变化数值。

经验算结果分析后可见，除基础宽度外，边坡稳定性会受到多方面因素影响。但是，因为在地震工况条件下，稳定安全系数呈降低趋势，整体数值仅达到非地震工况条件下的 70%~80%，因此在实际验算过程中，应结合《山地标》相应内容，对是否需要关注地震工况进行判断。

如果需要考虑地震工况，需对简单山地人防建筑基础至坡顶之间的距离进行合理设置，控制好边坡坡角、边坡高度、基础荷载、黏聚力、摩擦角，保证简单山地人防建筑基础稳定安全系数满足建设要求。

三、简单山地人防建筑基础加固方法

（一）微型钢管加固法

为保障简单山地人防建筑建设质量与稳定性，可使用微型钢管桩对其地基基础进行加固，这种加固技术的主要优势为：第一，微型钢管桩桩身直径较短，实际使用过程中，施工单位应在岩层内进行桩底嵌入操作，为侧向刚度合理性提供保障，提高加固效力。第二，施工设备数量少、施工过程简便，环境适应性强。第三，单桩承载力较低，并不会对桩身承载力检测提出较高要求。

（二）算例解析

为保障加固技术应用效果，施工单位也应对加固数值进行计算，并在简单山地人防建筑基础底部增加微型钢管柱结构。同时，也应对钻孔直径进行合理设置，并在孔中设置圆钢管与纵向钢筋，科学计算桩之间的距离，使用正方形布置方式，保证桩作用于粉质黏土层中，控制好桩长度。

（三）影响因素

1. 距离

计算与加固过程中，施工单位依然需要在地震、非地震两种工况条件下，对强度折减系数、边坡顶点水平位移方向数值进行提取，绘制关系曲线图。与此同时，还应制作基于不同桩距离条件下的简单山地人防建筑基础边坡稳定安全系数数据表，见表 1。

经过数值计算、对比、分析可以看出，基于极限平衡条件下，钢管桩加固处理后的边坡土体会呈等效塑性应变 PEMAG 式分布。如果钢管桩之间的距离在 3m 范围内，即桩中心距离不超过 20d（d 表示桩直径）^[4]，会取得十分显著的加固效果，稳定安全系数还可获得提升，保障简单山地人防建筑基础稳定性。通过对水平位移数值分析可见，桩身并不会对桩间土体进行全面约束，也不会生成较大位移。且基于水平力作用基础上，桩身会出现变形情况，造成边桩外土体发生位移。从等效塑性应变角度来说，边桩、桩底会出现塑性区域，其会延伸贯通至边坡坡脚，构成滑动面。然而通过使用钢管桩加固方法，其并不会继续发展，构成贯通式的塑性区域，进而保障简单山地人防建筑基础稳定性与建设安全性。

通过对强度折减、水平位移关系曲线可以看出，如果没有使用钢管桩加固技术，当土体至稳定极限状态后，会使位移距离迅速提高，曲线幅度相对陡峭，且失稳特征十分明显。然而通过使用钢管桩加固方法后，失稳状态下的位移发展十分平滑，但需要提高一定承载力，之后才会出现失稳，不具备明显特征点。

安全 系数	无钢管 桩	桩间距/m×m				
		1×1	2×2	3×3	4×4	5×5
非地 震	1.71	2.18	1.95	1.88	1.78	1.71
提升	—	29.5%	15.2%	9.7%	4.1%	0.0%
地震	1.32	1.60	1.52	1.52	1.42	1.38
提升	—	20.4%	13.6%	11.6%	5.0%	2.0%

表 1 不同钢管桩距离条件下的边坡稳定安全系数

2. 长度

取值钢管桩之间的距离为 4m×4m，对地震、非地震两种工况下的承载性能进行计算，同时依据强度折减系数、边坡定点水平位移方向的数值曲线，获得两种工况下的长度影响因素结果，还有基于不同桩长度下的简单山地人防建筑基础边坡稳定安全系数。

通过数据分析可以看出，如果钢管桩长度超过 7m，且桩长度超过边坡高度 2m，会取得明显加固效果，还可保障稳定安全系数提升高于 10%。

3. 桩底嵌岩

取值钢管桩之间的距离为 4m×4m，对钢管桩桩底嵌岩影响因素与相关数值进行分析，基于地震、非地震两种工况下的影响程度数值，绘制强度折减系数家数值图、边坡顶点水平方向位移曲线图。

通过曲线图、计算数值对比分析可以看出，在强风化岩内嵌入钢管桩桩底后，基于地震工况、非地震工况条件下，简单山地人防建筑基础稳定安全系数分别自为 2.23 与 1.85，相比于未进行加固处理之前的数值，均获得提升，可以看出钢管桩加固技术可获得良好加固效果。值得注意的是，简单山地人防建筑基础此时的边坡滑动面已经出现变化，通过使用钢管桩桩底嵌岩处理，可对桩间土体起到较强约束效果，边桩意外的土体中会生成滑动面，但这种情况不同于桩筏基础底部产生滑动面的情况。该过程中，简单山地人防建筑桩筏基础没有

受到滑动体带来的较大影响，保持一定稳定性^[5]，因此可以推断出，相比于计算值来说，其稳定安全系数更高。除此之外，钢管桩嵌岩加固处理方式还可充分发挥桩身侧向刚度、抗弯强度优势，如果简单山地人防建筑基础边桩之外的土体出现滑动，钢管桩依然可良好抵御桩之间的土体推力，桩水平变形程度较低，为简单山地人防建筑基础综合稳定性提供保障。

四、简单山地人防建筑基础加固对生态建设的影响

简单山地人防建筑加固可能会对生态建设产生一些影响。具体来说，以下是一些可能的影响：

1. 土地利用：在进行山地人防建筑加固时，可能会对土地进行挖掘、固定和填平等工程。这些活动可能会破坏原有的土地结构，导致土壤侵蚀和植被破坏，对生态环境造成不利影响。

2. 水资源利用：人防建筑加固通常需要进行水渠和排水系统的建设。这可能会导致水资源的大量使用和调整，从而影响当地的水生态系统。

3. 生物多样性：简单的人防建筑加固可能需要清除或破坏原有的植被，从而降低当地的生物多样性。植被的减少可能会影响到许多动物的栖息地和食物链。

尽管如此，我们可以通过一些方法来减轻这些影响并促进生态建设：

1. 环境评估：在进行加固工程之前，进行充分的环境评估，了解项目可能对生态环境的影响，并寻找降低负面影响的方法。

2. 可持续设计：采用可持续的设计原则，选择符合当地特点和生态要求的建筑材料、技术和工艺，尽量减少对土地和生物多样性的影响。

3. 植被恢复：在加固工程完成后，积极开展植被的恢复工作，采用植树造林等措施，以帮助恢复和保护生态环境。

总之，简单山地人防建筑加固可能会对生态建设造成一定的影响，但通过环境评估、可持续设计和植被恢复等措施，我们可以减轻这些影响并实现生态与建设的平衡发展。

结语

①应使用强度折减法，利用有限元方式对简单山地人防建筑地基边坡稳定性系数进行计算与分析，评价标准可设置为特征部位出现明显水平位移、塑性区域贯通状态，这种方式满足简单山地人防建筑基础稳定性失效破坏机理需求，可使用其对边坡稳定系数进行精准。

②基于地震工况，边坡稳定安全系数会呈现大幅下降状态，处于非地震工况的 70%-80% 之间，因此在实际验算过程中，应严谨判断是否要考虑地震工况或其他影响因素。

③通过对《地规》相关内容进行梳理与分析可以看出，如果考虑地震工况，地基稳定性可能无法满足数值需求，安全性较低。因此如果基础至边坡顶之间的距离小于 5m，边坡高度不低于 5m，且黏聚力低于 27kPa 时，应对基础边坡稳定性进行验算，才可保障加固效果，提高计算精准性，避免结果存在误差。

④使用钢管桩加固法对简单山地人防建筑基础进行处理过程中，如果桩中心之间的距离低于 20d，可获得良好加固效果，且稳定安全系数也可获得提升。与此同时，还应保障钢管桩长度超过边坡高度，会取得更好的加固效果，提升简单山地人防建筑基础安全性与稳定性。

⑤对钢管桩进行设置过程中，简单山地人防建筑地基边坡失稳状态下，位移发展呈现较为平滑的状态，因此位移发展进程中，应进一步提高整体承载能力。

⑥在强风化岩层内嵌入钢管桩桩底操作，可提高简单山地人防建筑基础稳定安全系数20%，取得良好加固效果。如果在该过程中，滑动面已经出现变化，仅有边桩之外的土体发生失效，并不会对简单山地人防建筑桩筏基础产生较大影响，确保稳定性处于合理范围内。

参考文献

- [1]王宏,李欣芸.简单山地建筑基础稳定性分析与加固[J].建筑结构,2022,52(S2):1831-1836.
 - [2]李跃亮,李晓志.仿宋建筑结构基础浸水环境下的稳定性能评价[J].建筑技术开发,2022,49(05):11-14.
 - [3]曾海芹.探析民用建筑设计中的基础设计[J].房地产世界,2021(24):39-41.
 - [4]孙建邦.关于重力式挡土墙抗倾覆稳定性验算的研究[J].四川水泥,2017(08):276.
 - [5]胡国栋.山区建筑地基基础沉降和稳定性设计分析[J].城市建筑,2014(06):68-69.
-