可靠度在岩土工程中的应用

于振辉　胡立军

（河北省地矿局第八地质大队，河北 秦皇岛 066000）

摘要：岩土工程采用的相关材料属于自然界常见的物质，其性能表现与实际指标存在一定程度的不确定特征。在这种情况下，针对工程质量进行管控需要采取有效分析措施，确保实际建设安全性符合基础需求。可靠度分析属于较为常用的岩土工程应用方案，其能够基于概率论对岩土材料性质进行探索，明确其主要应用可靠程度。本文主要针对岩土工程应用可靠度分析进行深入研究，以供参考。

关键词：可靠度；岩土工程；应用分析

中图分类号：TU43　**文献标识码：**A

目前，应用可靠度分析方式确保岩土工程建设达到理想标准，已经成为业界主流方案之一。可靠度主要基于概率理论，通过从结构层面入手，分析其主要失效概率，能够为后续采取相应措施提供重要支持。在实际应用过程中，需要明确岩土工程所具有的主要特性，并筛选合适的可靠度计算方法，为后续进一步展开岩土工程建设夯实基础条件。

1　可靠度基础概念简析

可靠度分析主要在承认计算应用数据真实性的前提下，针对破坏合理性、可能性展开深入探究。该方式具有良好的实用性，能够在不确定状态下建立可靠评价理论模型，同时具有良好的随机特征，可以应对相关分析挑战。通过将相关参数融入模型内部，能够对岩土工程的破坏面几何条件进行分析，同时也能够判断其基础物理特性，对地下水压力分布与地震荷载等随机变量因素进行模拟探究。因此，可靠度分析方式能够在岩土工程中得到充分应用，有利于判断建设可靠性与安全性，明确形变概率并为后续优化策略提供重要参考[1]。

2　岩土工程应用可靠度的主要特征分析

2.1　物理力学参数时空变异性强

岩土工程与其他工程类型存在显著差异，其物理参数条件与力学参数条件存在较为显著的时空变异特征。这一现象的主要原因与岩土工程材料类型存在关联，其与常规工程应用的人工方案不同，属于自然环境下生成的产物。此条件决定其物理特性与工程性质存在较大的不稳定性，可能会受到位置与地质年代等多方面因素影响。常规结构材料能够将其他应用案例作为分析基础，并结合单一抽样信息进行平均计算，整体可靠性较强。岩土材料在地域不同的情况下，存在较大的参数差异，因此主要根据工程设计勘察等方式进行分析，仅在规划阶段或临时工程中采用推荐经验数据展开计算。在这种情况下，全国规范设计参数仅具有简单平均趋势，无法反映施工现场实际参数变异特征。因此，在岩土工程应用可靠度分析方式时，需要避免采用规范参数进行计算，应当通过详细勘察方式，获取对应结果数据，确保可靠度分析能够达到理想执行标准[2]。

2.2　空间自相关特征明显

岩土工程中，基础土性通常采用试验样品的测试数值进行反馈。根据试验样品获取体积与位置的不同，其性质也会出现一定程度的变化。通常情况下，取样处理普遍为土层中的单一点位，因此可以认定数值反馈的性质为点式性质。但是，岩土材料本身存在多样化工程特征指标，存在场效应并会根据空间位置发生改变。若采用点位进行分析，则有可能导致偏差情况出现。在实际测试过程中，需要将土性随机变量视为整体随机场，并根据涉及范围状态的平均特征，探索其可靠度信息。在解决相关问题时，应当根据土层随机场理论对岩土点特征进行转换，使其能够反馈平均性质参数。

2.3　极限状态方程复杂性高

岩土本身属于一种非线性材料，在差异化应力环境下会展现各种形变特征。因此，针对其极限状态的计算方程也具有高度非线性表现。这一特性导致其应用显示函数表现设计状态的难度较高，同时不确定性较强、精确程度较差。针对不同原因与用途，需要采取差异化极限状态方程进行计算。同时若参数存在差异，也需要根据工程选择不同的控制失效模式。当前针对结构可靠度的分析主要集中于承载状态极限方面，岩土工程通常采用极限状态控制，如沉降等。因此，需要

结合实际工程情况展开计算，确保其极限状态方程能够得到正常应用。除此之外，在地基稳定性与边坡稳定性分析方面，极限状态方程需要将整体失稳作为基础条件，避免采用薄弱点失效展开控制。防渗结构应当控制薄弱点环节，因此需要在计算过程中正确判断极限状态，结合问题物理机制进行分析，明确筛选区分失效控制，实现科学计算目标[3]。

3 岩土工程应用可靠度方法探究

3.1 一次二阶矩JC方案

一次二阶矩属于较为常用的岩土工程可靠度计算方案之一，根据展开点存在的实际差异，可以分为中心点与验算点两种。这两种分支均考虑单一随机变量下前阶矩与二次阶矩之间存在的功能函数泰勒级数展开常数项、一次项，因此可以统称为一次二阶矩方案。此类方案能够有效计算近似可靠度指标数据，应用难度较低，同时计算效率高，因此得到了广泛应用。在实际计算过程中，其需要将随机独立变量作为基础前提，并在笛卡儿空间范围内建立正确的求解公式。通常情况下，一次二阶矩能够满足部分岩土工程的精度需求，但其仍然存在一些负面问题。例如，一次二阶矩方案未充分考虑随机变量存在的实际关联，而岩土工程土性本身存在显著的自关联与互关联特征，因此在计算可靠度的过程中可能出现一定程度的误差。同时，一次二阶矩能够在极限状态方程非线性程度较低的情况下实现良好计算效果，但如果其复杂程度较高同时线性化程度较强，则有可能导致极限状态曲面出现严重偏离，最终影响实际精度。JC方案属于较为常用的一次二阶矩计算类型，其主要应用当量正态化方式进行验算，在岩土工程中得到广泛应用。在实际计算过程中，其需要设定X内X_i为正态分布变量，其平均数值为μx_i、标准差状态为σx_i、概率密度函数为$fx_i(x_i)$、累计分布函数为$Fx_i(x_i)$。与X_i相互对应的当量正态化变量为$X^1{}_i$，其平均数值为$\mu X^1{}_i$，标准差数值为$\sigma X^1{}_i$，概率密度函数为$fX^1{}_i(X^1{}_i)$，累计分布函数为$FX^1{}_i(X^1{}_i)$。按照当量正态化处理需求，其应当在验算点位置x^*_i、$X^1{}_i$、x_i累计分布函数、概率密度函数位置处于相等状态，如图1所示。在对数正态分布的状态下，极值I分布等经典类型可以通过计算推导正态变量均值、方差。在计算数据的过程中，无须针对具体分布进行推导，包括均值与标准差表达等。根据独立化正态分布变量验算迭代应用方式，增加非正态变量变化流程，即可获得JC迭代计算方法。

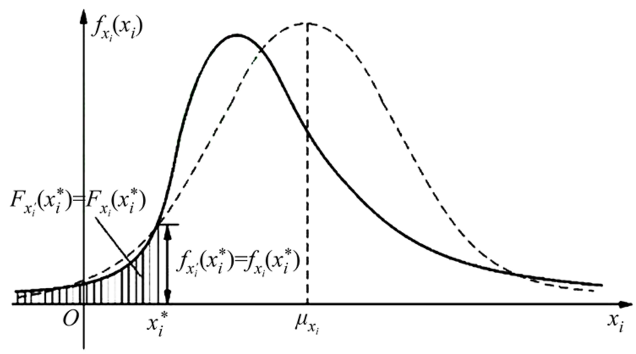

图1 JC方案当量正态化因素分析

3.2 蒙特卡洛方案

蒙特卡洛方案主要采用数据模拟方式，解决可靠度计算过程中存在的相关问题，属于经典应用策略之一。其需要针对随机化变量数据展开抽样处理，通过扩充基础样本库的方式，使相关数据能够直接带入问题情境，展开确定化分析流程。通过对工程实际失效频率进行深入探究，能够进一步模拟未来失效概率，进而获得可靠度信息。此方案基础应用方式明确，同时能够适应部分岩土工程条件，因此得到了广泛应用。蒙特卡洛方案模拟收敛速度与随机向量维数不存在关联，同时其极限方程复杂度与模拟流程也不存在关联，因此不需要将状态函数进行线性处理或将随机变量进行正态化处理。可以认为，应用蒙特卡洛方案能够直接处理岩土工程可靠度问题，同时其模拟误差能够通过调整频率与精度进行确认，失效概率相对较低。但是，采用蒙特卡洛方式进行计算会消耗大量时间，其需要对相关数据展开大规模抽样处理，因此往往需要庞大的人力资源与物力资源成本。在计算机信息技术逐渐成熟的背景下，蒙特卡洛方案得到了有效简化，其应用复杂程度逐渐降低，因此在岩土工程中能够进一步推广应用。

3.3 响应面方案

响应面方案属于可靠性分析的有效措施之一，其主要通过多种确定性实验构建响应面，使真实情况下的极限状态曲面能够得到科学拟合，进而在简单框架下展开失效分析。通过应用此类方案，能够有效避免极限状态方程存在的显示函数表达困难问题。但是，响应面方案同样存在一些缺陷，例如其循环次数需要根据随机变量情况进行确定。若随机变量较为庞大，则其消耗时间会大幅延长。同时，响应面方案需要保证随机变量函数关系处于连续、光滑状态，即随机输入输出变量变化较小。若存在突变问题，则会导致响

应面不能计算，如岩土工程失稳与材料非线性特征过强等情况。因此，响应面方案需要经过适当改进，才能够在岩土工程中进行推广应用。

3.4 随机有限元方案

随机有限元最早应用于20世纪80年代，其能够对随机现象进行科学计算与分析，属于确定性与概率统计相整合的处理方案。在应用过程中，其能够针对物理量随机特征进行探索，并从工程结构相应方面，对特征量展开统计分析，继而完成结构可靠度求证。通常情况下，随机有限元方案可以采用摄动有限元、Numan有限元等分支类型进行操作，其需要将随机场进行离散化分析，或将对应函数转换为功率谱密度函数，以实现简单分解表达目标。与确定类有限元相对比，随机有限元能够建立更为客观的物理建模，整体合理程度得到了显著提升，因此在岩土工程中被广泛应用[4]。

4 岩土工程可靠度计算模拟实例探索

4.1 实例信息

在针对模拟实例进行可靠度计算的过程中，需要首先明确其基础构造状态，如图2所示。岩土工程土体围绕圆弧滑裂面*O*点产生滑动性破坏现象，*W*代表滑动破坏土体自重，坡内土层实质上分为两层受力分别为F_1、F_2。两层分别为首层与次层提供抗滑阻力，*T*代表实际荷载。在这种情况下，针对土坡实际滑动破坏设定安全系数，如式（1）所示。在安全系数低于1的情况下，土坡会产生滑动性破坏现象，其功能函数如式（2）所示。此条件独立变量服从于独立化正态分布，基础均值数据与变异系数如表1所示。

$$SF = \frac{10F_1 + 10F_2}{3W + 5T} \tag{1}$$

$$g(X) = \frac{10F_1 + 10F_2}{3W + 5T} - 1 \tag{2}$$

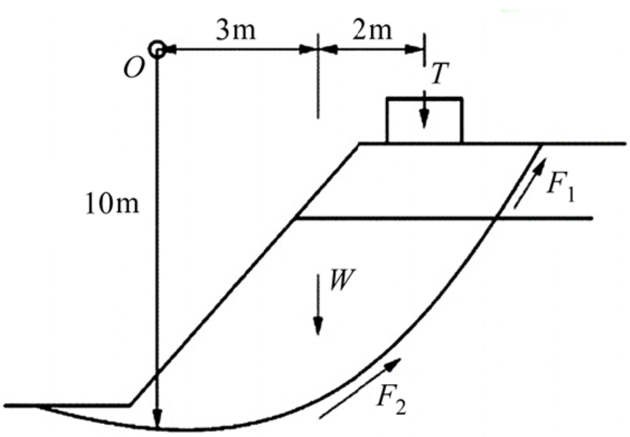

图2 土坡实际抗滑稳定状态分析

表1 基础均值数据与变异系数

变量类型	均值数据（kN）	变异系数
F_1	100	0.35
F_2	200	0.25
W	500	0.25
T	10	0.15

4.2 可靠度计算

在本实例中，针对可靠度进行计算主要采用JC方案操作。假设F_1、F_2服从于对数正态分布条件，同时*T*服从于极值*I*分布条件，即极大标准，均值与标准差维持原有状态。计算需要首先针对均值与标准差进行非正态分布数据分析，对F_1，对数正态分布情况如式（3）、式（4）所示。对F_2，对数正态分布情况如式（5）、式（6）所示。*T*极值*I*数据为尺度0.78、位置9.55。通过应用JC方案进行迭代计算，结果如表2所示。

$$\zeta_{F_1} = \sqrt{\ln（1+\delta_{F_1}^2）} = 0.29 \tag{3}$$

$$\lambda F_1 = \ln \ln（\mu F_1）- \tfrac{1}{2}\xi_{F_1}^2 = 4.56 \tag{4}$$

$$\zeta_{F_2} = \sqrt{\ln（1+\delta_{F_2}^2）} = 0.20 \tag{5}$$

$$\lambda F_2 = \ln \ln（\mu F_2）- \tfrac{1}{2}\xi_{F_2}^2 = 5.28 \tag{6}$$

式中，F_1，F_2分别为第一层土和第二层土提供的抗滑阻力，假设F_1，F_2服从对数正态分布，*W*服从正态分布，*T*服从极值*I*型分布（极大值），均值和标准差不变。

表2 可靠度JC方案计算结果

名称	数据
可靠度指标	2.3706
验算点坐标*F*1（kN）	65.67
验算点坐标	132.25
W（kN）	643.41
T（kN）	9.80

5 结束语

综上所述，可靠度计算在岩土工程中具有良好的应用价值。在实际处理阶段应当结合相关情况，选择恰当的计算方式，确保结果能够符合工程需求。

参考文献

[1] 翟明.基于光滑粒子流体动力学方法的边坡可靠度分析和风险评估[D].青岛：青岛理工大学，2021.

[2] 王思敏.岩土体参数的不确定性表征方法及工程应用[D].北京：北京交通大学，2021.

[3] 田耿硕.基于可靠性的滑坡稳定性分析及合理桩间距研究[D].西安：长安大学，2021.

[4] 单逊.基于ABAQUS二次开发的随机有限元法在基坑可靠度计算中的应用[D].杭州：浙江理工大学，2021.