

DOI: 10.11779/CJGE202105024

“矢量和法”抗滑稳定计算模型的力学概念错误

孙建生

(太原理工大学水利科学与工程学院, 山西 太原 030024)

中图分类号: TU432

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2021)05-0975-06

作者简介: 孙建生(1958—), 男, 硕士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事水工结构及其抗振方向的研究工作。E-mail: SJSD1053@163.com。

Mechanical concept errors in anti-sliding stability computational model of "vector sum method"

SUN Jian-sheng

(Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

0 引言

采用有限元等数值计算方法确定的应力成果进行边坡或坝基整体抗滑稳定安全系数研究, 目前主要有沿滑裂面的应力代数和法、朱大勇等^[1]的极限平衡改进法、葛修润^[2]的矢量和法。对于非单一平面滑动问题, 由于沿滑裂面不同点的切向力代数求和有悖于力的矢量性原理, 而极限平衡改进法模型仅考虑了法向应力成果为计算初值, 矢量和法直接采用滑裂面的法向应力和切向应力研究抗滑稳定安全系数, 因此受到业内学者的广泛关注^[3-22]。但是, 矢量和方法的数学模型却存在: ①安全系数定义中的滑动力和抗滑力的力学基本概念混淆自相矛盾; ②抗滑稳定安全系数本义是指沿滑裂面的剪切滑移抗滑极限受力(切向抗滑力与切向滑动力)在投影方向上的平衡研究, 却变成了滑裂面上的所有受力(切向力与法向力)沿投影方向的剪切滑移极限平衡安全系数力学定义怪论; ③抗滑稳定极限平衡安全系数定义过程是一个没有具体受力平衡研究对象的“空想平衡”, 导致了滑裂面的抗滑稳定受力研究主体与投影方向平衡研究手段的基本力学概念混淆错误。

滑裂面的有限元应力成果切向抗滑力与切向滑动力矢量和极限平衡抗滑稳定计算理论^[23], 可以完全避免刚体极限平衡研究方法的各种人为简化假设, 彻底摆脱有限元强度折减法(或超载法)存在的失稳判据争议、位移突变点位置和塑性区连通情况等人为模糊判断的困惑, 具有无比优越性毋庸置疑。然而, “矢量和法”计算模型的力学概念问题已经使这些特性名不符实, 也与用正确力学概念理解的矢量和方法文字定义(见文献[2]3.3节)相矛盾。“矢量和法”计算模型的力学概念错误必须予以纠正, 让该方法研究学者及读者明白其产生错误的原因和危害, 才能使之重归正确方向。

1 揭示“矢量和法”计算模型的错误

文献[3]法向应力及切向应力在投影方向的极限平衡“矢

量和”模型建立过程:

首先定义抗滑稳定极限平衡安全系数(文献[3]式(3))。

$$K = \frac{\sum R(\theta)}{\sum T(\theta)} \quad (1)$$

然后根据滑裂面上作用的切向应力 τ_i 和法向应力 σ_i 在投影方向的分力之和确定“滑裂面上提供滑动力的各力沿投影方向的代数和” $\sum T(\theta) = \sum T_\tau^i + \sum T_\sigma^i = \int [\tau_i \cos(\theta - \alpha_i) + \sigma_i \sin(\theta - \alpha_i)] ds$, (文献[3]式(8)~(10))。再依据滑裂面上岩土体产生的抗剪力 $\tau_{fi} = c_i + \sigma_i \tan \varphi_i$ 及法向反力 $\sigma'_i = \sigma_i$ 在投影方向的分力之和确定“滑裂面上提供抗滑力的各力沿投影方向的代数和” $\sum R(\theta)$ (文献[3]式(11)~(14)), $\sum R(\theta) = \sum R_\tau^i + \sum R_\sigma^i = \int [(c_i + \sigma_i f_i) \cos(\theta - \alpha_i) + \sigma_i \sin(\theta - \alpha_i)] ds$, 把滑动力和抗滑力在投影方向代数和 $\sum T(\theta)$ 、 $\sum R(\theta)$ 代入式(1)得(文献[3]式(16))

$$K = \frac{\int [(f_i \sigma_i + c_i) \cos(\theta - \alpha_i) + \sigma_i \sin(\theta - \alpha_i)] ds}{\int [\tau_i \cos(\theta - \alpha_i) + \sigma_i \sin(\theta - \alpha_i)] ds} = \frac{\int (f_i \sigma_i + c_i) \cos(\theta - \alpha_i) ds + \int \sigma_i \sin(\theta - \alpha_i) ds}{\int \tau_i \cos(\theta - \alpha_i) ds + \int \sigma_i \sin(\theta - \alpha_i) ds} \quad (2)$$

式中, θ 为投影方向倾角—按滑裂面各点的切向应力合矢量方向确定, α_i 为滑裂面计算点的切向倾角。

文献[2]的3.3节给出矢量和方法的文字概念定义并在第3.4节给出的计算模型及建立过程与式(2)相同, 文献[4]的“矢量和法”计算模型及建立过程也同上。

滑裂面的抗滑稳定极限平衡安全系数是表达沿滑裂面产生剪切滑移特征的实际受力与临界极限状态的接近程度指标,

沿滑裂面剪切滑移的影响因素仅仅是滑裂面的切向滑动力和切向抗滑力,因此,安全系数表达式中滑裂面提供的滑动力及抗滑力矢量的力学本质概念仅仅是指沿滑裂面的切向力,而滑裂面上的法向力不是滑裂面剪切滑移的直接影响因素,其在滑裂面的切向也不可能存在分力。滑裂面是抗滑稳定研究的主体对象,而投影方向平衡计算仅仅是研究途径,因此,滑动力与抗滑力矢量就只能是研究主体的切向力,也就是说,“滑裂面上提供滑动力的各力沿投影方向的代数和”正确的滑裂面剪切滑移力学概念应当是滑裂面上各点提供切向滑动力在投影方向的代数和 $\sum T(\theta) = \sum T^i = \int \tau_i \cos(\theta - \alpha_i) ds$,“滑裂面上提供

抗滑力的各力沿投影方向的代数和”正确的滑裂面剪切滑移力学概念应当是滑裂面上各点提供切向抗滑力在投影方向的代数和 $\sum R(\theta) = \sum R^i = \int (c_i + \sigma_i f_i) \cos(\theta - \alpha_i) ds$ 。然而,“矢量

和法”计算模型的建立过程,用滑裂面上各点的所有受力(切向力和法向力)在投影方向的代数和,取代了滑裂面剪切滑移的切向滑动力和切向抗滑力的正确概念,违背了抗滑稳定属于滑裂面剪切滑移的基本力学概念属性,构成了抗滑稳定问题最基本的力学概念的混淆错误。滑动力和抗滑力原本力学概念就是指沿滑裂面的切向力,这里再加上多余前缀“切向”就是为了强调和区别“矢量和法”计算模型的混淆错误概念。

“矢量和法”计算模型式(2)反应出研究学者错误地认为滑动趋势投影方向(计算方向)就是抗滑稳定的研究主体对象,因此,凭空定义抗滑稳定安全系数式(1)中的滑动力矢量与抗滑力矢量就变成了滑裂面上同一点提供的切向力矢量与法向力矢量组成的矢量和,研究者所指的滑动力和抗滑力是由此矢量和产生的投影方向的剪切力,而不是滑裂面的切向力。这就是“矢量和法”计算模型力学概念错误的起源,也是其所有研究学者力学思维认识的共性错误,是投影计算方向与滑裂面剪切滑移方向的力学概念认知混淆错误。

很难想象“矢量和法”研究学者的力学概念如此混淆,否则一眼就能看出计算模型具有抗滑稳定力学基本概念错误。

由此基本力学概念混淆错误导致的“矢量和法”计算模型的谬误表现如下:

(1)“矢量和法”模型安全系数计算公式的分子和分母比正确概念模型同时增加了纯法向力影响的第2项 $\int \sigma_i \sin(\theta - \alpha_i) ds$,根据抗滑稳定安全系数的极限平衡意义

$1 = \frac{\sum R(\theta) / K}{\sum T(\theta)}$,把矢量和法模型式(2)写成该含义有

$1 = \frac{\int \frac{(f_i \sigma_i + c_i)}{K} \cos(\theta - \alpha_i) ds + \int \frac{\sigma_i}{K} \sin(\theta - \alpha_i) ds}{\int \tau_i \cos(\theta - \alpha_i) ds + \int \sigma_i \sin(\theta - \alpha_i) ds}$ 。那么,在“矢

量和法”安全系数定义式(2)中滑裂面下的法向应力 σ'_i 和滑裂面上的法向应力 σ_i 究竟是滑裂面两侧的真实平衡力 $\sigma'_i = \sigma_i$?还是抗滑稳定安全系数 K 时才达到极限平衡的概念

法向力 $\sigma'_i = \frac{\sigma_i}{K}$?“矢量和法”模型当计算切向抗滑力 $f_i \sigma'_i + c_i$ 时是按法向力平衡关系 $\sigma'_i = \sigma_i$ 确定滑裂面两侧的法向力的大小关系,而当定义安全系数时却又认为滑裂面下部的法向力一公式分子的第2项法向力为 $\sigma'_i = \frac{\sigma_i}{K}$,是达到抗滑稳定安全系数时才与滑裂面上的法向力 σ_i 极限平衡的概念法向力 $\frac{\sigma_i}{K}$ 。请问同一个公式中的法向应力概念可以如此前后非议矛盾吗?“矢量和法”安全系数计算模型定义式(2)本身就存在概念混淆自相矛盾的严重力学错误问题。

(2)既然“矢量和法”模型计算式(2)认为滑裂面上提供滑动力矢量总和是由滑裂面上所有的法向应力与切向应力的合成矢量力,那么滑动趋势方向就必然是所定义的滑动力合矢量方向。然而,为什么计算滑动趋势方向时却又仅采用切向滑动力矢量方向呢(文献[3]式(4)~(6))?潜在滑裂面上每一点的剪切滑移方向到底是该点的切向还是滑动趋势投影方向?若是切向,那为什么该点滑动力、抗滑力在投影方向的分力就变成了法向应力和切向应力在投影方向的分力?若是投影方向,那潜在滑裂面在该点剪切滑移方向就成了投影方向,即,潜在滑裂面的剪切滑移方向就不是滑裂面的切线方向,那还能称其为潜在滑裂面吗?故,滑动力、抗滑力按照“矢量和法”模型的混淆错误概念(由滑裂面上的法向力与切向力构成)无论如何都无法自圆其说,都存在明显的力学概念自相矛盾错误问题。由自相矛盾的力学概念而建立的计算模型怎么可能可能是正确的?任何理论只要触碰了自相矛盾的底线,无疑必然是谬论,而“矢量和法”计算模型是2次触碰自相矛盾的红线。

(3)滑裂面上矢量力抗滑稳定极限平衡安全系数的原本定义:滑裂面的剪切滑移极限切向抗滑力矢量与切向滑动力矢量在投影方向的平衡比。而“矢量和法”计算模型式(2)却把抗滑稳定安全系数定义为滑裂面上的所有受力(法向力和切向力)在投影方向的剪切滑移极限平衡比,把滑裂面的剪切滑移安全系数变为滑裂面上的所有受力在投影方向的剪切滑移安全系数。这样的安全系数还能称其为滑裂面的抗滑稳定安全系数吗?

(4)“矢量和法”抗滑稳定极限平衡安全系数定义式(2)的建立过程,不是根据平衡研究对象的滑动力与抗滑力在投影方向的极限平衡条件写出平衡关系方程推导得到,而是没有具体的平衡研究对象(平衡研究脱离体)的“凭空想象”定义。具体的脱离体平衡研究对象可以清晰地表明滑裂面上的作用力平衡关系,由脱离体平衡条件确定平衡关系方程时,滑裂面上下两侧的平衡法向应力在投影方向的分力相互抵消,因此,法向平衡应力不可能再出现在抗滑稳定计算模型的公式中。平衡研究对象的受力简图可以有效避免力学概念混淆错误的产生,但遗憾的是,所有相关学者专家的研究文献没有一个给出具体平衡研究对象—脱离体受力简图。

(5) “矢量和法”计算模型是采用矢量力平衡研究抗滑稳定,本就应该采用研究成果的矢量极限平衡关系图,说明计算模型的矢量平衡合理性。为什么相关研究论文都没有矢量极限平衡图?因为,按照“矢量和法”模型的混淆力学错误概念根本就不可能绘制出矢量极限平衡图,在矢量图中抗滑力的法向力究竟是按 $\sigma'_i = \sigma_i$ 绘制、还是按 $\sigma'_i = \frac{\sigma_i}{K}$ 绘制?无论如何矢量图都存在自相矛盾问题(由第(1)点决定),只有 $K=1$ 时能够绘制,或者说“矢量和法”模型只适用于 $K=1$ 的特例情况,其它情况真的是不知道怎么办了(无法绘制)?

文献[5]把上述模型建立过程直接采用切向应力与法向应力合矢量形式表示(文献[5]式(6),(11),代入式(8)中):

$$K = \frac{\int \sigma'_s \cdot (-\vec{d}) ds}{\int (\sigma_s \cdot \vec{d}) ds} = \frac{\int f_i \sigma'_n + c_i \cdot (-\vec{d}) ds + \int \sigma'_n \cdot (-\vec{d}) ds}{\int (\sigma_n \cdot \vec{d}) ds + \int (\sigma_n \cdot \vec{d}) ds} \quad (3)$$

式中, $\vec{\sigma}_n = -\vec{\sigma}'_n$ 为法向应力矢, \vec{d} 为投影方向单位矢量。

式(2),(3)仅是数学表达形式不同(通过两矢量点积数学原理可相互转换),力学本质错误完全一样。但两式建立过程表现出的力学基本概念的混淆程度有区别,前者对于滑动力和抗滑力为沿滑裂面切向的力学概念认识或许还存在过清晰的可能,错误仅是由于抗滑稳定安全系数定义式(1)导致了滑裂面抗滑稳定极限平衡研究主体与投影方向平衡研究手段概念混淆,把滑裂面上切向抗滑力与切向滑动力的极限平衡安全系数概念混淆成为滑裂面上所有受力(法向力和切向力)在投影方向的剪切力极限平衡安全系数;后者不仅平衡研究主体与手段概念混淆,而且直白表现出滑动力与抗滑力是滑裂面切向的力学概念也混淆错误,错误认为法向应力与切向应力的合成矢量方向为滑裂面的滑动力及抗滑力矢量方向。

文献[6,7]的计算模型及建立过程同式(3)。但文献[5~7]的投影方向均采用了抗滑力合成矢量方向为滑动趋势方向。存在的剪切滑移方向力学概念自相矛盾错误与文献[3]一样。

抗滑稳定是滑裂面的剪切破坏状态可能性研究,滑动力与抗滑力是沿滑裂面剪切破坏方向的切向力,而不是“矢量和法”模型中滑裂面的法向力和切向力在投影方向的剪切力。抗滑稳定极限平衡是指沿滑裂面的切向抗滑力与切向滑动力的极限平衡,而不是“矢量和法”模型中滑裂面上所有受力沿投影轴方向的极限平衡。“矢量和法”计算模型建立过程中由式(1)到式(2)或式(3)的推导过程是用后者代替了前者,构成了滑动力、抗滑力最基本力学概念的混淆错误。投影轴方向的平衡条件仅仅是沿滑裂面抗滑稳定极限平衡安全系数研究目标的研究手段。

2 “矢量和法”错误计算模型的迷惑性与危害性

由于有限元应力计算成果数据量巨大,如采用手工验算“矢量和法”模型可靠性显然是困难的。在这里用算例说明:
①假设在投影方向的滑裂面切向抗滑力分力为8(分子的第1

项)、投影方向的切向滑动力分力为5(分母的第1项)、法向力的投影方向分力为5(分子或分母的第2项),则在投影方向的正确矢量和方法抗滑稳定安全系数为 $K=1.6$,而“矢量和法”模型式2的 $K=1.3$,如果法向力的投影分力为10时则按“矢量和法”式(2)模型 $K=1.2$ 。
②假设在投影方向的切向抗滑力为4、切向滑动力投影为5、法向力投影为5,则正确的矢量和方法 $K=0.8$,式(2)模型 $K=0.9$,如果法向力投影为10时则式(2)模型 $K=0.933$ 。
③假设在投影方向的切向抗滑力为6,切向滑动力投影也为6,法向力投影分力为5,则投影方向:正确的 $K=1.0$,矢量和法模型 $K=1.0$,如果法向力投影分力为10,式(2)模型 $K=1.0$ 。

通过简单算例可归纳出:“矢量和法”模型计算安全系数 K 的结果,当实际情况 $K>1.0$ 时,“矢量和法”模型计算值小于实际值,随着法向力投影值的增大安全系数减小变异,最终模型 K 可趋近于 1.0;当实际情况 $K<1.0$ 时,“矢量和法”模型计算值大于实际值,随法向力的投影值增大 K 增大变异,最终模型 K 也趋近于 1.0;当且仅当分子和分母的第一项相等时“矢量和法”模型计算结果才能与实际抗滑稳定 K 相符。

“矢量和法”计算模型的 K 荒谬并危害之大难以置信!考虑法向力影响的第2项最终结果就是: $K>1.0$ 的安全边坡计算 K 值减小可使之更接近 1 导致工程加固浪费资金,不安全的边坡也可以使 K 计算值更靠近 1 导致工程安全隐患加剧。这就是“矢量和法”模型增加了法向应力第2项对安全系数最终结果真实影响,也是“矢量和法”模型验证算例为什么要选择 K 接近 1.0 的真实原因。如文献[3]通过边坡稳定标准考题 Ex1a 的 $K=1.0$ 、考题 Ex1c 的 $K=1.39$ 验证,计算结果与土质边坡考题刚体极限平衡法很吻合,使得计算模型具有极大的迷惑诱导性。但该模型用到三峡大坝(实际工程真实安全系数远大于 1)的深层抗滑稳定研究时计算结果 $K=2.112$,和文献[24]有限元强度折减法 $K=3.5\sim4.0$,最大可能 6.5,误差竟在 40%以上。当实际工程的 K 远大于 1.0 时,“矢量和法”模型的计算错误突出显现出来。

3 “矢量和法”错误计算模型产生原因

(1) 文献[2~4]模型错误原因:抗滑稳定计算模型原本应当是沿滑裂面两侧的抗滑稳定极限受力(切向抗滑力及滑动力)在投影方向的平衡研究,却被变成了滑裂面两侧所有作用力(法向力及切向力)沿投影方向的极限平衡安全系数研究,力学平衡研究对象概念混淆错误(滑裂面切向力矢量极限平衡研究主体与投影方向平衡研究手段关系倒置错误)是产生滑裂面滑动力与抗滑力最基本力学素质概念的混淆错误的起因,

“矢量和法”研究者思维中所谓滑动力与抗滑力概念,是沿滑动趋势投影方向的力,而不是沿滑裂面的切向力。具体表现形式是把滑裂面上作用的法向力、切向力总矢量与滑动体作用的所有载荷静力平衡条件,误认为就是滑裂面上稳定作用力(切向滑动力与抗滑力矢量)的抗滑稳定极限平衡条件。文献[5~7]

模型错误原因：认为滑动力或抗滑力就是法向应力与切向应力合矢量力，表现出滑动力或抗滑力的基本力学概念混淆错误。尽管两类模型思维概念错误表现形式不同，但模型错误本质是一样的。

(2) “矢量和法”模型定义滑裂面的抗滑稳定极限平衡安全系数，却没有具体的极限平衡研究对象和极限平衡条件方程，成为投影方向的“凭空想象”极限平衡安全系数定义怪论。没有明确的平衡研究对象是“矢量和法”计算模型力学概念混淆错误产生的根源。

(3) 矢量和方法的所有研究始终没有找到投影方向极值原理^[23]，研究成果始终无法摆脱人为确定投影方向的影响，计算模型不可能成为理论模型具有客观定量唯一解特征，只能通过算例安全系数的差异对比方法说明模型的合理可靠性，必然会产生迎合传统简化经验方法计算结果的凑数错误模型。

(4) 滑动力与抗滑力是沿着滑裂面方向的切向力；抗滑稳定极限平衡仅仅是人们为了计算潜在滑裂面的抗滑稳定安全系数而假想抗滑力达到最大时的切向力矢量极限平衡计算概念状态研究，投影方向的平衡仅仅是切向抗滑力与切向滑动力抗滑稳定极限平衡条件的研究手段，不是稳定平衡的研究主体；法向力是滑裂面两侧的真实受力状态的平衡力（大小及分布相等，方向相反），不存在抗滑稳定极限平衡问题。“矢量和法”模型研究者这些基本力学概念表现出不同程度的混淆。

(5) 采用滑裂面上的有限元应力成果进行抗滑稳定极限平衡安全系数研究时，切向抗滑力、切向滑动力两个合矢量具有非共线不平衡固有特性，仅在投影方向进行平衡研究，问题本身就存在保守力学理论范畴的所谓力学平衡概念的认知矛盾现象，即真实状态的滑动力矢量与计算虚拟状态的抗滑力矢量非共线不平衡问题的平衡研究矛盾。而对于抗滑稳定矢量力固有不平衡问题的相关理论研究方法处于空白的实际条件下，使得没有前人理论依据的矢量和方法迷失了研究的正确方向；同时在岩土工程滑坡研究领域中，刚体极限平衡理论和有限元塑性渐进破坏理论存在学术认识分歧争议的现实氛围双重困惑，使得没有理论依据的“矢量和法”计算模型只能采用算例安全系数对比差异之小说明论证模型的可靠性，最终必然导致目前的力学概念混淆错误之下安全系数凑数计算模型结局。

如果没有投影方向极值原理为理论基石，有限元成果就不可能得到抗滑稳定研究的唯一客观真实理论解。基于投影方向极值原理的“有限元应力载荷宏观刚性滑裂面抗滑稳定极限平衡计算理论^[23]”已经实现了矢量力合成方法的抗滑稳定性正确矢量和概念研究途径。

4 矢量和方法的平衡投影方向问题

文献[2~4]推荐采用投影方向为滑动力合矢量方向，文献[5~7]推荐采用最大抗滑力合矢量方向。本文认为均不是抗滑稳定研究的合理投影方向，因为多滑面体系采用矢量和投影平衡研究时，可用抗滑力合矢量与滑动力合矢量非共线必然存在

夹角，即两个合矢量构成一个非共线不平衡耗散力系统。边坡稳定计算受力简图和矢量平衡示意见图1、2。

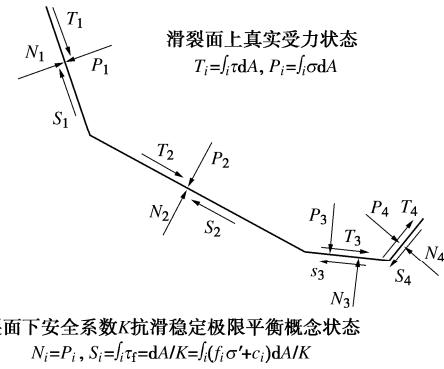


图1 滑裂面极限平衡抗滑稳定计算简图

Fig. 1 Calculation diagram of ultimate equilibrium and anti-sliding stability of sliding surface

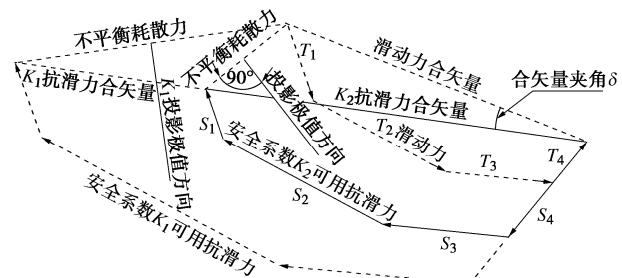


图2 滑裂面切向滑动力及抗滑力矢量图

Fig. 2 Vector Diagram of tangential sliding force anti-sliding force on sliding surface

对于共线平衡力系统投影方向可以任意选取计算结果不变。而对于非共线耗散力系统的平衡研究，投影方向对研究成果影响敏感，投影方向必须与耗散力作用方向垂直，沿此投影方向确定的抗滑稳定安全系数才是客观唯一定量真解，否则计算结果必然含有虚拟耗散力的平衡影响误差，而且夹角愈大耗散力误差影响愈大，夹角较小时只能是近似值，夹角较大时甚至严重偏离真值产生谬误。耗散力方向与安全系数的大小有关，则合理的投影轴方向必然与安全系数也有关，而两个合矢量方向都与安全系数无关，故，都有人为假设因素误差影响，具有不合理性。根据孙建生稳定计算理论模型文献[23]对于滑坡标准考题EX1C的研究成果结论：矢量力投影平衡及力矩平衡计算理论模型得到的安全系数解是一样的，安全系数理论真解为1.4311，并给出了该考题算例的矢量力平衡关系图（此题应力代数和解1.4194，刚体极限平衡方法推荐解1.39，文献[2]矢量和解1.384，文献[3]矢量和解1.389）。读者必须明白：真实理论解不可能与传统简化方法解一样。

5 结 论

(1) 文献[2]的“矢量和法”概念文字定义表述还不够严谨，至少应该在滑动力与抗滑力的前边再加上多余前缀“切向”并应当明确滑裂面是研究对象主体，就可以避免力学基本

概念混淆错误。然而同一文献所给出力学计算模型是错误的，两者也就必然产生了水火难容的自相矛盾问题，因此只能说“矢量和法”概念的文字定义者就存在力学概念混淆问题。文献[5]采用法向应力与切向应力矢量和是对矢量和方法概念文字含义的误解，两种模型错误本质是一样的。

(2) “矢量和法”计算模型错误主要根源是：“矢量和法”研究学者把滑裂面上所作用的法向力和切向力在投影方向的分力平衡条件安全系数误认为就是滑裂面的抗滑稳定极限平衡条件安全系数。正确的矢量和方法力学概念应当是：滑裂面各点的切向极限抗滑力合矢量与切向滑动力合矢量在投影方向的分力平衡条件方程确定的潜在滑裂面的安全系数。

(3) “矢量和法”模型抗滑稳定极限平衡安全系数定义及推导过程，是无具体平衡研究对象的“凭空想象”平衡，导致了滑裂面两侧所有受力沿投影方向(投影平面)的剪切滑移抗滑稳定极限平衡安全系数定义怪论。抗滑稳定研究本义是沿滑裂面各点的切向滑动力矢量与切向极限抗滑力矢量在投影方向平衡的滑裂面的抗滑稳定安全系数。

(4) 有限元应力成果矢量力抗滑稳定研究，抗滑力合矢量及滑动力合矢量的方向不同存在夹角，属于两个状态的非共线矢量不平衡特性问题的投影方向平衡研究，投影方向原理的虚功能量极值条件方程是矢量抗滑稳定研究理论模型真解的基石。

“矢量和法”错误计算模型的已经对抗滑稳定基本力学概念及正确发展方向造成了严重破坏性影响，特别是对正确的抗滑稳定矢量合成研究方法理论及其发展具有致命性破坏，几乎已经推向了死亡深渊绝路，而且正在迅速蔓延扩大影响。必须立刻强力阻止错误计算模型的影响态势进一步恶化。

参考文献：

- [1] 朱大勇, 卢坤林, 台佳佳, 等. 基于数值应力场的极限平衡法及其工程应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, **28**(10): 1969 - 1975. (ZHU Da-yong, LU Kun-lin, TAI Jia-jia, et al. Limit equilibrium method based on numerical stress field and its application to engineering[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, **28**(10): 1969 - 1975. (in Chinese))
- [2] 葛修润. 岩石疲劳破坏的变形控制律、岩土力学试验的实时X射线CT扫描和边坡坝基抗滑稳定分析的新方法[J]. 岩土工程学报, 2008, **30**(1): 1 - 20. (GE Xiu-run. Deformation control law of rock fatigue failure, real-time X-ray CT scan of geotechnical testing, and new method of stability analysis of slopes and dam foundation[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2008, **30**(1): 1 - 20. in Chinese))
- [3] 刘艳章, 葛修润, 李春光, 等. 基于矢量法安全系数的滑坡与坝基稳定分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, **26**(10): 2130 - 2140. (LIU Yan-zhang, GE Xiu-run, LI Chun-guang, et al. Stability analysis of slope and dam foundation based on vector method safety factor[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, **26**(10): 2130 - 2140. (in Chinese))
- [4] 吴振君, 葛修润. 求解边坡矢量和安全系数的条分法[J]. 岩土力学, 2009, **30**(8): 2337 - 2342. (WU Zhen-jun, GE Xiu-run. Solving vector sum factor of safety of method of slices[J]. Rock and Soil Mechanics, 2009, **30**(8): 2337 - 2342. (in Chinese))
- [5] 郭明伟, 李春光, 葛修润, 等. 基于矢量和分析方法的边坡边坡滑面搜索[J]. 岩土力学, 2009, **30**(6): 1775 - 1781. (GUO Ming-wei, LI Chun-guang, GE Xiu-run, et al. Searching potential slip surface of slopes based on the vector sum analysis method[J]. Rock and Soil Mechanics, 2009, **30**(6): 1775 - 1781. (in Chinese))
- [6] 邓琴, 郭明伟, 李春光, 等. 基于边界元法的边坡矢量和稳定分析[J]. 岩土力学, 2010, **31**(6): 1971 - 1976. (DENG Qin, GUO Ming-wei, LI Chun-guang, et al. Vector sun method for slope stability analysis boundary element method[J]. Rock and Soil Mechanics, 2010, **31**(6): 1971 - 1976. (in Chinese))
- [7] 沈华章, 张国发, 王水林, 等. 基于矢量分析法的边坡下滑推力计算[J]. 岩土力学, 2016, **37**(4): 1096 - 1108. (SHEN Hua-zhang, ZHANG Guo-fa, WANG Shui-lin, et al. Calculation of downslide thrust of slope based on vector analysis method[J]. Rock and Soil Mechanics, 2016, **37**(4): 1096 - 1108. (in Chinese))
- [8] 刘艳章. 边坡及坝基抗滑稳定的矢量和分析方法研究[D]. 武汉: 中国科学院武汉岩土力学研究所, 2007. (LIU Yan-zhang. Vector Sun Analysis Method of Slopes and Dam Foundation Stability Against Sliding[D]. Wuhan: Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, 2007. (in Chinese))
- [9] 郭明伟, 葛修润, 李春光, 等. 边坡和坝基抗滑稳定分析的三维矢量和法及其工程应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, **29**(1): 8 - 20. (GUO Min-wei, GE Xiu-run, LI Chun-guang, et al. Three dimensional vector sum method employed in slope and dam foundation stability analysis and its applications to practical engineering[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2010, **29**(1): 8 - 20. (in Chinese))
- [10] 郭明伟, 葛修润, 李春光, 等. 基于矢量和方法的边坡稳定性分析中整体下滑趋势方向的探讨[J]. 岩土工程学报, 2009, **31**(4): 577 - 583. (GUO Ming-wei, GE Xiu-run, LI Chun-guang, et al. Study on potential sliding direction in

- slope stability analysis based on vector sum method[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2009, **31**(4): 577 - 583. (in Chinese)
- [11] 沈 辉, 罗先启, 李 野, 等. 乌东德拱坝坝肩三维抗滑稳定分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2012, **31**(5): 1026 - 1033. (SHEN Hui, LUO Xian-qi, LI Ye, et al. Three-dimensional stability analysis of dam abutment of Wudongde arch dam[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2012, **31**(5): 1026 - 1033. (in Chinese))
- [12] 罗 勇, 周春梅, 吴燕玲, 等. 基于矢量和法的矿山边坡稳定性分析[J]. 武汉工程大学学报, 2010, **32**(12): 43 - 46. (LUO Yong, ZHOU Chun-mei, WU Yan-ling, et al. Stability analysis of mine slope based on vector sun analysis method[J]. Journal of Wuhan Institute of Technology, 2010, **32**(12): 43 - 46. (in Chinese))
- [13] 赵家成, 吴 剑, 晏华斌. 矢量和方法在重力坝深层抗滑稳定评价上的应用[J]. 水电能源科学, 2013, **31**(1): 53 - 56. (ZHAO Jia-cheng, WU Jian, YAN Hua-bin. Application vector sum analysis method in gravity dam stability evaluation against deep slilding[J]. Water Resources and Power, 2013, **31**(1): 53 - 56. (in Chinese))
- [14] 秦晓艳, 金 鑫, 介玉新, 等. 加筋土边坡的矢量和法稳定性分析[J]. 水力发电学报, 2012, **31**(5): 223 - 249. (QIN Xiao-yan, JIN Xin, JIE Yu-xin, et al. Stability analysis on reinforced soil slopes with vector sum analysis method[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2012, **31**(5): 223 - 249. (in Chinese))
- [15] 沈华章, 郭明伟, 王水林, 等. 基于离散元的边坡矢量和稳定分析方法研究[J]. 岩土力学, 2016, **37**(2): 592 - 600. (SHEN Hua-zhang, GUO Ming-wei, WANG Shui-lin, et al. Vector sum method for slope stability analysis based on discrete elements[J]. Rock and Soil Mechanics, 2016, **37**(2): 592 - 600. (in Chinese))
- [16] 邹 烨, 郭明伟, 王水林, 等. 地震荷载下三维边坡动力稳定分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2017, **36**(5): 1174 - 1184. (ZOU Ye, GUO Ming-wei, WANG Shui-lin, et al. Dynamic stability analysis of three dimensional slopes under seismic loads[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2017, **36**(5): 1174 - 1184. (in Chinese))
- [17] 平瞳其, 罗先启, 郑安兴. 地震作用下裂隙对岩质边坡稳定性影响分析[J]. 岩土力学, 2015, **38**(2): 600 - 606. (PING Tong-qi, LUO Xian-qi, ZHENG An-xing. Analysis of influence of cracks on rock slope stability under seismic loading[J]. Rock and Soil Mechanics, 2015, **38**(2): 600 - 606. (in Chinese))
- [18] 薛海斌, 党发宁, 尹小涛, 等.应变软化边坡稳定性分析[J]. 岩土工程学报, 2016, **38**(3): 570 - 576. (XUE Hai-bin, DANG Fa-ning, YIN Xiao-tao, et al. Stability analysis method for strain softening slopes[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2016, **38**(3): 570 - 576. (in Chinese))
- [19] 张海涛, 罗先启, 沈 辉, 等. 基于矢量和的滑面应力稳定性分析方法[J]. 岩土力学, 2018, **39**(5): 1691 - 1699. (ZHANG Hai-tao, LUO Xian-qi, SHEN Hui, et al. Vector-sum-based slip surface stress method for analyzing slip mass stability[J]. Rock and Soil Mechanics, 2018, **39**(5): 1691 - 1699. (in Chinese))
- [20] 王 伟, 陈国庆, 郑水全, 等. 考虑张拉-剪切渐进破坏稳定性分析[J]. 岩土力学, 2019, **40**(增刊 1): 468 - 476. (WANG Wei, CHEN Guo-qing, ZHENG Shui-quan, et al. Study on the Vector sum method of slope considering tensile-shear progressive failure[J]. Rock and Soil Mechanics, 2019, **40**(S1): 468 - 476. (in Chinese))
- [21] 邹 烨, 严东方. 基于矢量和法的三维边坡滑面搜索研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2019, **17**(4): 107 - 111, 171. (ZOU Ye, YAN Dong-fang. Critical slip surface of three dimensional slope based on vector sun method[J]. Journal of Water Resources and Architectural Engineering, 2019, **17**(4): 107 - 111, 171. (in Chinese))
- [22] 孙加平, 魏星, 宋保保. 基于最小势能原理的三维边坡稳定性矢量和法[J]. 长江科学院院报, 2020, **37**(11): 102 - 106. (SUN Jia-ping, WEI Xing, SONG Bao-bao. Vector sum analysis method for analyzing the stability of three dimensional slope based on minimum potential energy[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2020, **37**(11): 102 - 106. (in Chinese))
- [23] 孙建生. 基于有限元应力载荷宏观刚性滑裂面极限平衡稳定性计算理论[J]. 岩石力学与工程学报, 2018, **37**(4): 862 - 875. (SUN Jian-sheng. Theoretical model of stability calculation of macro-rigid sliding planes with FEM stress load based on limit equilibrium[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2018, **37**(4): 862 - 875. (in Chinese))
- [24] 葛修润, 任建喜, 李春光, 等. 三峡左厂 3#坝段深层抗滑稳定三维有限元分析[J]. 岩土工程学报, 2003, **25**(4): 389 - 394. (GE Xiu-run, REN Jian-xi, LI Chun-guang, et al. 3D-FEM analysis of deep sliding stability of #3 dam foundation of left power house of three Gorges Project[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2003, **25**(4): 389 - 394. (in Chinese))