

海堤波浪爬高计算中糙渗系数取值的规范比较与适用性分析

邱晓东 叶 笑 陈李明 吴小君

江苏省水利勘测设计研究院有限公司 江苏 南京 210000

摘 要：波浪爬高是确定海堤顶高程的核心参数，其计算精度直接关系到工程的安全性与经济性。在众多影响因素中，表征护面粗糙度与结构渗透性的糙渗系数（或糙率缩减系数）扮演着至关重要的角色，其取值的合理性直接影响爬高计算结果。本文系统梳理并深入比较了国内外三部主流技术规范——中国国家标准《堤防工程设计规范》（GB 50286-2013）、交通运输行业标准《港口与航道水文规范》（JTS 145-2015）以及国际权威指南《欧洲越浪手册》（EurOtop Manual, 2018）——在波浪爬高计算理论、公式体系及糙渗系数取值方法上的异同。研究发现，三部规范虽均采用基于无量纲爬高的经验公式框架，但在基础理论来源、适用条件界定、系数分类方式及具体数值上存在显著差异。并深入探讨了各规范在我国工程实践中的适用边界与局限性。旨在为海堤工程设计人员提供清晰的技术指引，推动我国海堤设计理论与实践的精细化发展。

关键词：海堤；波浪爬高；糙渗系数；规范比较；EurOtop；适用性分析

引言

全球气候变化下，沿海地区风暴潮与巨浪威胁加剧，海堤设计安全至关重要，精确计算波浪爬高是核心环节。波浪爬高指波浪沿堤坡向上爬升的最大垂直高度，受入射波要素、水深、堤前底坡等多种因素影响，其中护面结构特性对耗散波浪能量、抑制爬高起决定性作用。工程界引入“糙渗系数”量化其影响，该系数是小于或等于1.0的经验修正因子，用于折减理论爬高值。但糙渗系数并非普适常数，其取值依赖护面材料、块体形状等。目前，国内外多部海堤设计技术规范在糙渗系数定义、分类和推荐取值上有差异，设计人员若不加辨析套用，易使计算结果失真，影响工程决策，故比较分析主要规范中糙渗系数取值方法并评估其适用性很有必要。

1 主要规范中波浪爬高计算理论与糙渗系数定义

1.1 《堤防工程设计规范》（GB 50286-2013）

作为我国水利行业的基础性国家标准，GB 50286-2013主要适用于江河湖库的堤防工程，但其关于波浪爬高的计算方法也常被借鉴用于海堤设计。该规范在附录C中给出了正向规则波作用下单一坡度斜坡堤的爬高计算公式：

$$R_{1\%} = K_A \cdot K_V \cdot K_\beta \cdot R_0$$

其中， $R_{1\%}$ 为累积频率1%的波浪爬高； K_V 为与风速、吹程相关的经验系数； K_β 为斜向波作用的折减系数； R_0 为光滑、不透水护面（ $K_A = 1$ ）条件下，波高 $H = 1\text{m}$ 时的爬高基准值，其计算基于莆田试验站的经验公式^[1]。核心在于糙渗系数 K_A 。规范在表C.3.1-1中列出了

不同护面类型的 K_A 推荐值，例如：

光滑不透水护面（如沥青混凝土）： $K_A = 1.0$

混凝土或混凝土板： $K_A = 0.9 - 1.0$

草皮： $K_A = 0.85 - 0.95$

砌石： $K_A = 0.75 - 0.85$

抛填两层块石（不透水基础）： $K_A = 0.6 - 0.7$

抛填两层块石（透水基础）： $K_A = 0.5 - 0.6$

可以看出，GB 50286的分类相对宏观，主要依据护面材料的大类进行划分，未对块体的具体几何形状（如四脚空心方块、扭工字块体等）做进一步区分，且取值范围较宽，体现了其作为通用性规范的保守性和包容性。

1.2 《港口与航道水文规范》（JTS 145-2015）

JTS 145-2015是交通运输部发布的行业标准，专门针对港口、航道及海岸工程，其对波浪爬高的规定更具针对性。该规范同样采用经验公式法，其基本形式为：

$$R_p = K_A \cdot K_p \cdot H$$

其中， R_p 为累积频率 p 的波浪爬高； K_p 为不同累积频率间的换算系数； H 为有效波高（ $H_{1/3}$ ）。关键参数 K_A 即为综合考虑了护面粗糙度、渗透性及堤坡等因素的系数。JTS 145在表10.2.3-1中详细列出了 K_A 值，其分类明显比GB 50286更为精细，特别关注了现代海岸工程中常用的异形块体护面，例如：

光滑不透水护面： $K_A = 1.0$

四脚空心方块（安放一层）： $K_A = 0.55$

四脚锥体（安放二层）： $K_A = 0.50$

扭工字块体（安放二层）： $K_A = 0.45$

栅栏板: $K_A = 0.50$

此外, JTS 145还引入了“有效坡度”的概念来处理带有镇压平台的复式斜坡堤, 通过将复杂断面等效为单一坡度, 再查表获取 K_A 值。这表明该规范更注重处理实际工程中常见的复杂结构形式。

1.3 《欧洲越浪手册》(EurOtop Manual, 2018)

EurOtop是由荷兰、英国、德国等欧洲多国顶尖研究机构联合编撰的国际权威指南, 汇集了数十年来大量的物理模型试验和原型观测数据, 代表了当前国际上波浪爬高与越浪研究的最高水平。其核心公式为:

$$\frac{R_u}{H_{m0}} = f(\xi_{m-1,0}, \gamma_f, \gamma_p, \gamma_s)$$

其中, R_u 为爬高(通常对应2%超越概率); H_{m0} 为谱峰周期对应的波高; $\xi_{m-1,0}$ 为无量纲水深参数(Iribarren数); γ_f 即为糙率缩减系数(roughness reduction coefficient), 是本文关注的重点。EurOtop在Table 5.2中提供了迄今为止最详尽、最系统的 γ_f 取值表。其分类逻辑极为严谨, 不仅区分了护面类型, 还明确指出了块体的安放层数、具体型号甚至安放方式(随机或规则)。例如:

光滑不透水: $\gamma_f = 1.0$

天然块石(双层): $\gamma_f = 0.55-0.60$

四脚空心方块(Accropode™, 双层): $\gamma_f = 0.45-0.50$

扭工字块体(Dolos, 双层): $\gamma_f = 0.48-0.52$

Xbloc®(双层): $\gamma_f = 0.45-0.50$

尤为关键的是, EurOtop明确区分了公式的适用对象: 其主公式主要针对不规则波(Irregular Waves), 这是自然界的真实状态; 而对于规则波(Regular Waves), 则需使用不同的换算关系。这一点在其他两部规范中并未得到同等强调。

2 规范间糙渗系数取值的对比分析

2.1 理论基础与数据来源的差异

三部规范的理论根基存在代际差异。GB 50286-2013的波浪爬高计算方法主要源于20世纪70-80年代国内(尤其是福建莆田试验站)开展的系列规则波水槽试验。这些试验为我国早期堤防建设提供了宝贵的基础数据, 但其局限性在于, 规则波无法完全模拟真实海洋环境中波浪的随机性和频谱特性。JTS 145-2015在继承国内研究成果的基础上, 部分吸收了国际上的先进经验, 其数据来源更为混合, 但仍以规则波试验为主导^[2]。相比之下, EurOtop Manual (2018)是建立在近半个世纪以来欧洲各国(特别是荷兰三角洲工程、英国泰晤士河口屏障等重大工程)积累的海量不规则波物理模型试验和原型观测数

据之上。其理论体系不仅考虑了波浪的统计特性, 还深入研究了波浪非线性、破碎过程以及护面结构动力响应等复杂物理机制, 因此在物理意义上更为完备和贴近工程实际。

2.2 护面类型分类与系数取值的精细化程度

在糙渗系数的分类上, 三者呈现出明显的梯度差异。(1) GB 50286: 分类粗略, 仅按“材料大类”划分, 如“砌石”“抛填块石”等, 忽略同一材料类别下因块体形状、尺寸等不同导致的消浪性能差异。如“抛填两层块石”被赋予同一取值区间(0.5 - 0.7), 虽简化设计流程, 但牺牲计算精度, 对现代海堤设计不利。(2) JTS 145: 精细化程度提升, 明确列出“四脚空心方块”等具体异形块体系数, 区分安放层数。反映我国对新型护面结构应用的重视, 但未涵盖所有商业化异形块体, 且未区分安放方式, 而安放方式对糙渗系数影响达10% - 15%。(3) EurOtop: 极致精细化, 系数表包含几乎所有主流异形块体品牌(如Accropode™, XblocPlus®, KOLOS®等), 严格标注安放层数、方式及块体具体型号。如双层随机安放的 Accropode™ II, 其 γ_f 有推荐值, 规则安放可能更低。其精细化源于庞大数据库支持, 能实现精准设计。

2.3 波浪类型与适用条件的界定

这是一个常被忽视但至关重要的区别。GB 50286和JTS 145的公式体系均默认或主要适用于规则波。尽管在实际应用中, 设计人员会将不规则波的有效波高($H_{\{1/3\}}$)代入公式进行计算, 但这本质上是一种近似处理, 缺乏严格的物理一致性。EurOtop则从根本上解决了这个问题, 其主公式(公式5.1)明确要求输入不规则波的谱峰波高 $H_{\{m0\}}$, 并基于不规则波的爬高统计特性(如2%超越概率)进行定义。手册中还专门提供了规则波与不规则波爬高之间的换算关系(见Section 5.3.2), 确保了在不同波浪条件下的计算连贯性。对于我国沿海绝大多数受风浪或涌浪控制的海堤工程而言, 采用基于不规则波理论的EurOtop方法显然更为科学合理。

3 在我国工程实践中的适用性探讨

3.1 GB 50286-2013的适用边界与局限性

GB 50286作为国家强制性标准, 在水利系统内的河湖堤防、蓄滞洪区围堤等工程中具有不可替代的地位。其优势在于普适性强、操作简单, 对于护面结构相对简单(如草皮、砌石、普通块石)的内陆堤防, 其推荐的糙渗系数取值是足够且偏于安全的。然而, 将其直接应用于现代海堤工程, 特别是那些采用高性能异形块体、位于开敞海域、面临强台风浪袭击的海堤时, 则显现出

明显的局限性^[3]。其宽泛的系数取值可能导致两种后果：一是对高性能护面过度保守，造成工程投资浪费；二是对某些特殊工况（如小水深、陡坡）下的爬高估计不足，带来安全隐患。因此，对于重要的海堤项目，不应机械套用GB 50286的系数，而应寻求更精确的方法。

3.2 JTS 145-2015的优势与改进空间

JTS 145作为交通行业的专业规范，其对海工结构的理解更为深刻。它对异形块体的明确分类使其成为我国港口、码头、防波堤等工程设计的首选依据。其引入的“有效坡度”概念，也为处理带平台的复合式断面提供了实用工具。然而，随着新材料、新结构的不断涌现，JTS 145的系数表已显滞后。例如，近年来在国内多个大型项目中应用的国产新型异形块体（如“钩连块”、“叉型块”等），在规范中并无对应条目。此时，设计人员往往只能参照相近块体进行估算，存在不确定性。未来，JTS规范的修订应加强与科研机构和工程实践的联动，及时更新和完善糙渗系数数据库。

3.3 EurOtop Manual的借鉴价值与本土化挑战

EurOtop无疑是当前最先进、最全面的参考工具。对于承担高风险、高价值防护任务的国家级重点海堤工程（如环渤海、长三角、粤港澳大湾区的海堤），积极借鉴EurOtop的方法论和系数取值，是提升设计科学性的必由之路。然而，直接照搬其系数也需谨慎。首先，EurOtop的数据多源于欧洲温带海域，其波浪谱特性、水深条件、甚至块石材质（如花岗岩与玄武岩的差异）可能与我国沿海（尤其是南海热带海域）存在差异^[4]。其次，我国的施工工艺和质量控制水平与欧洲标准可能存在差距，导致实际护面的消浪效果低于理想状态。因

此，物理模型试验是解决这一问题的金钥匙。对于关键工程，应在设计阶段开展针对性的物模试验，利用当地材料和拟采用的施工工艺，实测出符合本工程特点的糙渗系数，以此作为最终设计的依据。这不仅能验证规范取值的适用性，还能为我国积累宝贵的本土化数据，反哺未来规范的修订。

4 结语

海堤波浪爬高计算中的糙渗系数取值，是连接理论与实践的关键桥梁。本文通过对GB 50286、JTS 145和EurOtop三部核心规范的系统比较，揭示了它们在理论基础、分类方式和数值推荐上的异同。研究表明，随着工程实践的发展，糙渗系数的取值正朝着更精细化、更物理化、更贴近真实波浪条件的方向演进。在我国当前的工程实践中，设计人员应在遵守国家及行业规范的前提下，积极借鉴国际先进经验，尤其要重视物理模型试验在确定关键参数中的不可替代作用。唯有如此，才能确保海堤设计既安全可靠，又经济合理，为我国漫长的海岸线构筑起坚实而智慧的蓝色屏障。

参考文献

- [1]于洋,赵宏元,项雨略.糙渗系数不同的复合式斜坡堤波浪爬高计算[J].港工技术,2020,57(01):1-4.
- [2]黄麒麟.混合式结构断面海堤波浪爬高计算分析[J].水利科技,2025,(02):34-36.
- [3]高晨晨.复式断面斜坡堤波浪爬高计算方法的比较[J].水利规划与设计,2025,(05):55-61.
- [4]王丽珠,庄培煌,李超,等.柔性结构物影响下复式斜坡堤波浪爬高试验研究[J].海岸工程,2025,44(02):153-162.