



日照港区风化花岗岩 力学指标和疏浚参数相关性分析

张更生, 王力威, 唐达方

(中交天津航道局有限公司 疏浚工程技术实验室, 天津 300457)

摘要: 以山东日照港区重型绞吸船开挖风化花岗岩为例, 依据疏浚区域岩石性质进行疏浚区域划分, 进行风化花岗岩力学指标和疏浚参数相关性分析, 建立疏浚区域风化花岗岩力学指标标准贯入击数和疏浚参数经验性公式。基于疏浚工程施工中疏浚生产率、风化花岗岩的分布和力学性质的相互关系, 将重型绞吸船开挖日照港风化花岗岩的难易程度进行等级划分, 为重型绞吸船开挖风化花岗岩提供施工技术支持。

关键词: 疏浚工程; 标准贯入击数; 疏浚参数; 经验公式

中图分类号: U 617

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)10-0201-03

Correlation analysis on mechanical index of weathered granite and dredging parameters in Rizhao port

ZHANG Geng-sheng, WANG Li-wei, TANG Da-fang

(Dredging Engineering Laboratory, CCCC Tianjin Dredging Co., Ltd., Tianjin 300457, China)

Abstract: Taking the excavation of weathered granite by high-power cutter suction dredger as an example in Rizhao port, Shandong, we carry out the division of dredged region according to rock property, and establish the empirical formula based on the correlation between mechanical index standard penetration number of weathered granite and dredging parameters. Based on the relationship between productivity in dredging engineering, weathered granite distribution and mechanical property, we rank the dredging difficulty degree of weathered granite excavation on high-power cutter suction dredger, and it provides a technical support for similar construction of dredging engineering.

Keywords: dredging engineering; standard penetration number; dredging parameter; empirical formula

随着我国经济不断发展, 结构调整不断深入, 急需对沿海城市港口航道进行增深增宽疏浚, 加大货物吞吐量。而我国沿海城市地质状况复杂, 广泛分布着强度及风化程度不同的岩石。相对其它土质, 岩石具有强度高、颗粒大等特点, 给沿海城市港口航道的增深疏浚带来很大的困难。为了疏挖海底不同强度和完整性的岩石、达到港口航道设计高程, 在疏浚工程中, 环境气候、土质、船舶自身性能和工程技术等条件均对疏浚施工参数产生很大的影响。假设其它影响因素不变, 单纯的岩石指标变化对疏浚参数的影响程度以及二

者的内在规律如何? 为此, 试图通过某种定量分析方式找到岩石指标与疏浚参数之间的函数关系。经实际生产参数可靠性验证后, 利用岩石指标估算工艺参数, 制定准确的施工方案, 降低疏浚施工风险, 给类似的疏浚工程提供借鉴。

1 疏浚区域岩石特性

日照石臼港区开挖岩性为风化花岗岩, 依据风化程度不同可细分为强风化、全风化和残积土, 呈黄褐色-灰黄色, 粗粒结构, 裂隙发育, 岩体风化强烈, 岩芯多呈黏土状、砂状、角砾状, 偶见

收稿日期: 2015-01-27

作者简介: 张更生 (1980—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事岩土工程勘察设计和疏浚土质研究工作。

碎块状（手可掰碎），主要成分为长石、石英及云母。工程勘察中干钻极难进尺，给水钻进尺较快，岩芯采取率为 65% ~ 71%，岩体基本质量等级分类为 V 类。风化花岗岩场区普遍分布，最大揭露厚度为 9.00 m，标准贯入击数 25 ~ 200。基于疏浚区域的风化花岗岩力学性质、风化程度和岩性组成，将花岗岩力学特性和疏浚工艺参数相关性分析研究分为 3 个区域 I、II 和 III（图 1）。

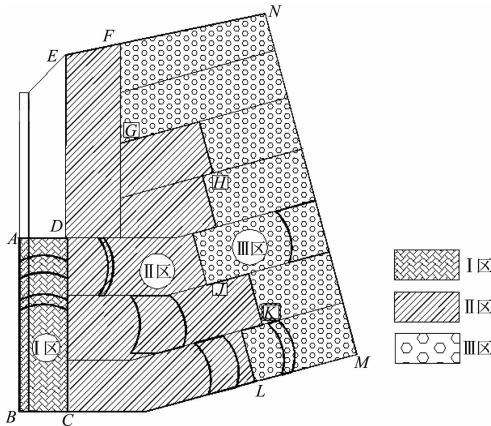


图 1 疏浚区域分区

I 区位于 15 万吨级码头基槽和泊位内，基槽设计底高程为 -19.9 m，泊位设计底高程为 -18.9 m，基槽及泊位基岩面高程基本在 -13.6 ~ -15.5 m，疏浚土质主要为强风化花岗岩，占疏浚工程量的 88%。依据 JTS 181-5—2012《疏浚与吹填工程设计规范》，疏浚岩土工程特性为 12 级，风化花岗岩的标准贯入击数 80 ~ 200，天然状态单轴饱和抗压强度最大值 7.463 MPa，饱和单轴抗压强度最大值 4.568 MPa，软化系数为 0.61，为软化岩石，浸水 24 h 饱和抗压强度降低 38.8%。当施工

中遇到开挖困难时，浸泡 24 ~ 48 h，使强风化花岗岩软化后，再进行开挖施工，能大大提高开挖效率^[1]。

II 区位于港池内，疏浚设计深度为 -17.0 m，基岩面高程基本在 -14.0 ~ -17.0 m，疏浚土质主要为强风化花岗岩、全风化花岗岩和残积土，其中强风化花岗岩占疏浚工程量的 65%，花岗岩风化的砂土和残积土占 35%。依据港池区域勘察资料，疏浚岩土工程特性为 12 级，风化花岗岩的标准贯入击数 50 ~ 150，花岗岩风化较强烈，遇水后崩解为砾砂土。

III 区位于港池内，疏浚设计深度为 -17.0 m，疏浚土质主要为砂土状风化花岗岩和残积土，其中砂土状风化花岗岩和残积土占疏浚工程量的 80%，强风化花岗岩和其它土类占疏浚工程量的 20%。疏浚岩土工程特性为 11 级，标准贯入击数 25 ~ 80，风化花岗岩风化很强烈，力学性质接近砂土和黏性土。

2 岩石力学指标和施工参数相关性分析

依据疏浚区域的工程地质资料，表征风化花岗岩的力学性质指标为标准贯入击数，基于 128 组疏浚介质的力学指标和重型绞吸船施工参数数据，对疏浚区域 I、II 和 III，利用最小二乘法建立了强风化花岗岩力学指标和施工参数疏浚生产率、绞刀消耗功率和横移速度等之间的经验关系式^[2]，并可在以后的施工生产中，利用此公式来预测不同强度风化花岗岩的施工参数，为疏浚施工投标决策、施工过程的管理控制提供技术支持。

表 1 花岗岩力学指标和疏浚参数经验公式

项目	疏浚区域	经验公式	回归系数	备注
标准贯入击数和疏浚生产率关系	I	$y = -0.12x^2 + 18.282x + 657.85$	0.85	y 为输挖不同性质岩石的生产率 (m^3/h) x 为风化花岗岩标准贯入击数
	II	$y = -1602\ln x + 8836.5$	0.87	
	III	$y = -912.2\ln x + 5105$	0.72	
标准贯入击数和绞刀功率关系	I	$y = -0.0024x^3 + 1.1076x^2 - 153.57x + 9716.1$	0.69	y 为输挖不同性质岩石的绞刀功率 (kW) x 为风化花岗岩标准贯入击数
	II	$y = 0.2426x^2 - 34.119x + 3493.5$	0.83	
	III	$y = 0.3168x^2 - 20.171x + 2390.9$	0.74	
标准贯入击数和横移速度关系	I	$y = -0.019x + 13.02$	0.53	y 为输挖不同性质岩石的横移速度 (m/min) x 为风化花岗岩标准贯入击数
	II	$y = 163.26x - 0.558$	0.69	
	III	$y = 0.001x^2 - 0.159x + 16.479$	0.37	

注：自变量标准贯入击数边界条件 I 区 80 击 ≤ x ≤ 200 击，II 区 50 击 ≤ x ≤ 150 击，III 区 25 击 ≤ x ≤ 80 击。

标准贯入击数和疏浚生产率相关性建立过程中, I 区为二次方函数关系, II 和 III 区为对数函数的关系, I、II 和 III 疏浚区相关性经验公式的回归系数分别为 0.85、0.87 和 0.72, 回归系数均在 0.7 以上, 表明绞吸挖泥船在疏浚挖掘过程中效率的高低受岩石的力学指标标准贯入击数影响很大, 随着岩石强度的降低, 岩石风化程度强烈, 夹杂砂土含量的变大, 绞吸船疏浚效率受力学指标的影响程度在降低。岩石的力学指标和疏浚效率存在反比关系, 基于最小二乘法, 从定量的角度拟合的 II 区标准贯入击数和疏浚生产率经验关系式(图 2)。

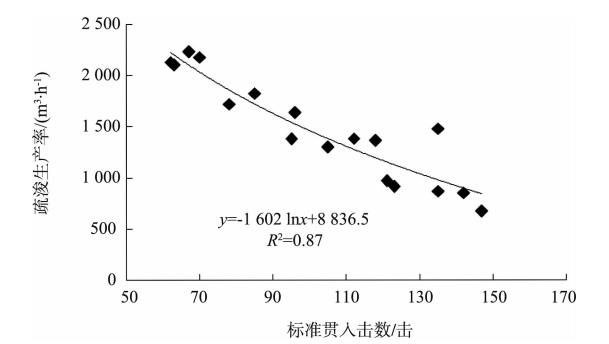


图 2 标准贯入击数和疏浚生产率拟合曲线

I、II 和 III 疏浚区域标准贯入击数和绞刀消耗功率之间的关系为多项式的函数关系, 风化岩石的强度和绞刀消耗功率之间呈反比关系, 回归系数分别为 0.69、0.83 和 0.74。从拟合的回归系数可以看出, 绞刀切削风化花岗岩消耗的功率不仅和疏浚船舶的性能、工况条件有关, 与疏浚对象岩土介质密切相关。相对来说, 抗剪强度大的岩石在疏浚时, 绞刀消耗的功率变化较大、相关性较差。

通过经验公式的建立发现标准贯入击数和横移速度之间的关系较差, 绞吸船在挖掘疏浚工程岩土分级为 12 级的风化岩石时, 绞刀头的摆动横移速度除受到船舶的性能、疏浚施工操作人员技术水平和海上自然条件的影响外, 横移速度受到岩石强度和完整性的影响: 当岩石的强度越大、完整性越好时, 切削岩石所受的阻力越大, 在其

他工况条件相同时, 横移速度越小; 相反越大。而反映风化花岗岩强度的力学指标与绞刀头的摆动横移速度存在一定的规律性, 但规律性较差, 受其它敏感性因素影响, 关系较为复杂, 只有 III 区绞刀横移速度和标准贯入击数相关性相对较高, 回归系数为 0.69。

3 疏浚开挖难易程度分析

依据日照港区的疏浚生产率数据、疏浚区域风化花岗岩的分布和风化花岗岩的力学指标的相互关系, 对整个疏浚区域的疏浚难易程度进行了等值线的划分(图 3)。

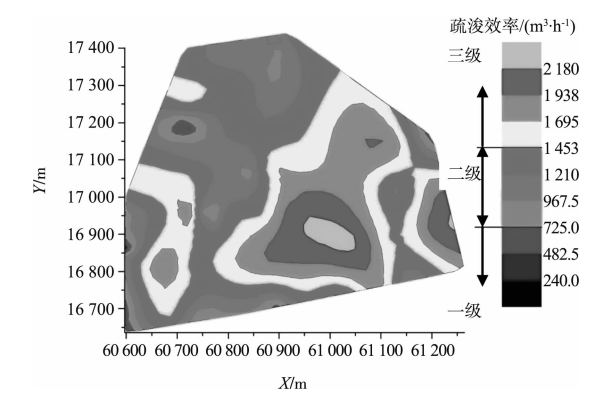


图 3 不同性质花岗岩疏浚难易程度等值线

由图 3 可知, 将疏浚区域花岗岩疏浚难易程度划分为 3 个等级, 通过等值线图可以清晰地分辨疏浚区域风化花岗岩的可挖性质: 一级为最高等级, 由于疏浚对象主要为强度较高的强风化花岗岩, 标准贯入击数 80~200, 最为难挖, 在等值线图中以深色表示, 疏浚效率较低, 重型绞吸船的疏浚效率在 725 m³/h 以下; 二级疏浚对象为花岗岩残积土和强风化花岗岩的混合物, 强风化花岗岩占疏浚工程量的 65%, 标准贯入击数 50~150, 具有遇水崩解的特点, 难挖程度属于中等, 重型绞吸船的疏浚效率在 725~1453 m³/h; 三级为最低等级, 疏浚对象主要为花岗岩风化砂土和残积土, 强风化花岗岩占疏浚工程量 20% 以下, 标准贯入击数 25~80, 疏浚过程中较易挖掘和输送, 重型绞吸船的疏浚效率在 1453 m³/h 以上。

(下转第 208 页)