

爆炸法处理水下沙—淤泥软基筑堤施工技术

张建勋

(中国科学院力学研究所, 北京 100080)

摘要 通过对汕头广澳港区防波堤的爆炸法处理设计与施工的实践, 着重介绍复合软基的设计要点, 以及保证工程质量的施工装药新技术。

关键词 爆炸法, 沙—淤泥复合软基, 装药技术

近几年, 利用爆炸法处理高含水量、大孔隙比、低强度的单一淤泥质软基的填筑防波堤、护岸堤等港口工程已得到广泛应用, 但是由于与爆炸法处理相关的海床地基成因, 软基的类型不同, 复存条件各异等, 较为常见的是处理复杂的复合软基问题, 其中最具代表性是砂—淤泥复合土层组成的软基, 这种复合土表现以下特点: 沙层颗粒的粒径大小不等, 厚度不一, 复存一层或数层, 形状层状或透镜体, 存在软基的浅部, 力学特征为较高承载力; 沙底部是高含水量、低强度, 且有一定厚度的淤泥质土层。本文对汕头广澳港区防波堤的复合软基爆炸法处理筑堤进行介绍。

1 复合软基爆炸法处理设计要点

1.1 堤轴线与爆炸处理有关的土层特性

在 275m 长的防波堤轴线上布设了 7 个工程地质勘察钻孔, 除 0~0.8m 厚的表层浮淤外, 揭露的土层由上至下分为以下 4 层: ①粉细沙。存在软基的上部, 稍密—中密, $N_{36.5}$ 为 8~24 击。0+538~0+805m, 厚度 0~3.6m; 0+805~0+881m, 厚度 4.1~4.3m; ②灰色淤泥。平均含水量 68.2%, $N_{36.5}$ 为 0。0+538~0+611m, 厚度 2.65~9.9m, 0+661~0+805m, 厚度 0.8~2.65m; ③粉细沙。存在软基的中部, 力学指标同

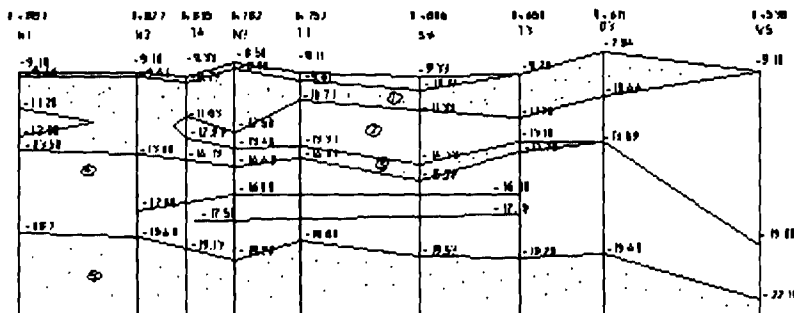


图 1 防波堤工程地质剖面

Fig.1 Geological section of the dam to protecting water waves

①所示；④淤泥-淤泥质土层。存在软基的底部，平均含水量 52.8%，快剪凝聚力 15~25KPa，快剪内摩擦角 0~8 度。0+538~0+650m，厚度 3.1~6.31m；0+650~0+881m，厚度 3.39~6m（图 1）。

以上的软基土表明：尽管软基中存在的粉细沙具有较高的承载力，但是该层厚度不一，分布不均，易液化，灵敏度大等特点，且其下部是高压缩性，低强度，厚度较大的淤泥，为了保证堤身的稳定性和工后沉降量满足设计要求，因此爆炸处理要求块石置换沙-淤泥复合软基至一定深度。

1.2 设计要点

爆炸处理置换复合软基中的上部两层砂，堤身落于 1/3 的下部淤泥层深度以下时，满足防波堤的稳定性和沉降量的设计要求，则爆炸作用必须将较高承载力的粉沙层破坏，且形成一定大小的排淤“空腔”与深度，块石向“空腔”位置塌落充填。其设计要点如下：

根据防波堤堤身底部标高的设计参数，条形药包的埋深应满足爆炸作用力使第一层沙产生一定抛掷，又令第二层沙产生破坏贯通，则条形药包的线装药密度 q_l 的爆炸压碎圈的深度条件为：

$$C_0 (q_l)^{1/3} \geq \Delta h_2 \quad (1)$$

式中： C_0 为与炸药质量有关的常数； Δh_2 为装药的底标高与最下部沙层底标高的剩余沙厚。

考虑粉细沙的物理力学特点和水下装药设备效率等因素，本工程 q_l 取为 10~15kg/m，代入（1）式，则 0+611~0+805m，装药的底标高为 -14m，在复合软基中的孔深 4.67~6.06m，剩余沙厚 Δh_2 为 0.41~1.3m；0+805~0+881m，装药的底标高为 -13m，复合软基中孔深 3.6m，剩余沙厚 Δh_2 为 0.5~0.8m。

堤身爆炸处理每循环中的装药量在满足抛掷与破坏沙层的同时，因本工程施工水深为 8.5~12m，可不考虑爆破飞散物的影响，根据国家爆破安全规程中的爆破震动的要求，本工程每循环装药量为 300~350kg；依据堤身断面设计参数，垂直于堤轴线的装药长度为 20~25m，装药间距 2~2.5m，每孔的装药量 30kg，条形药包长 3m。

在等效药量的基础上，条形药包的爆炸“空腔”为圆柱-长柱形，药包爆炸能量沿轴线分布相对均匀对称，药包的能量利用率高，破坏半径应大于 2/3 的药包埋深。本工程每爆炸处理循环进尺为 2~4m。

在考虑较高承载力和相当厚度的粉细沙的影响，结合堤身的布药宽度，确定合理的抛填宽度 B ：

$$B = B_2 + 2h_m \times ctg\phi - 2h\lambda \quad (2)$$

式中： B_2 为堤头布药宽度，m，本工程的抛填宽度为 15m； h_m 为装药深度，m； ϕ 为爆炸作用破坏区与塑性区的界面角。该值由土中不同深度下的爆破引起的最大径向压力求得，一般大于 53 度； h_s 为海床面标高以上的抛填高度，m； λ 为堤身抛填的自然坡比。

2 复合软基的主要施工与工序

2.1 堤身的爆炸与推填

复合软基在竖向呈现方向各异,厚度不均,强度差异大等特点,若爆炸处理堤头的复合软基不抛掷或破坏,不形成一定的深度和大小的“空腔”,在施工中就会使某施工段的堤身落于深部的高灵敏的粉细沙上,该层厚度极不均匀,部分位置已被爆炸作用扰动或破坏,堤身施工的重复加载或多次爆炸震动等影响下,堤身在推进一定长度时,该层发生瞬间破裂或变形,临界平衡破坏,则该层上的一段堤身发生失稳或沉降。为避免这种现象和加速施工中的沉降,采取的措施有:①严格按照设计深度装药;②装药宽度不能小于设计值;③相邻爆炸循环装药的位置间隔要控制在设计范围内,避免爆后残留较高承载力的土层;④严格控制堤身推填进尺。采用测量方法控制推填的进尺,准确指导安排与组织施工,尤其在推填施工进度较快时,采用预装药施工,即可避免发生超长的抛填,影响施工质量,又减少干扰,提高施工进度;⑤控制堤身推填宽度。一般淤泥质软基的爆炸处理施工中,推填的宽度往往考虑处理深度,堤身断面设计宽度等参数,而对于复合软基还须考虑堤身装药长度的大小,以避免堤身推填超宽,堤身两侧平台形成在较高承载力的土层上。

2.2 堤身两侧爆炸施工与水上抛平台

施工顺序为:堤身两侧装药—爆后在堤身两侧挖泥—水上抛两侧的平台—两侧平台爆夯处理—爆后补抛。

3 复合软基送药新技术

3.1 送药装置的提出

本工程的施工有以下4个特点:①施工水位较高,水深8.5~12m,潮差较小,不利于陆上施工;②防波堤常年受到波涌浪影响;③堤头数十米海上和在堤内侧产生溢流急聚;④复合软基含两层较高承载力的粉细沙,厚度不一。平均标贯为17击,最高24击等。在以上的施工条件下,我们认为爆炸处理复合软基筑堤的关键是利用装药设备将设计药包埋至设计深度和位置。

目前,具有代表性的装药设备有水上钻孔式、陆上长臂挖机反压倾斜式和陆上振动式等。其中水上钻孔式(也称成孔式)设备可满足药包埋深的要求,但是设备复杂,深水时不容易找到孔,处理沙层容易塌孔,而且钻机与钻杆为刚性连接,装药作业时不允许船体有较大的摇摆,因此受到海况制约显著;陆上长臂挖机反压倾斜式的长臂长度有限,又受臂的结构材料等因素制约,且动力系统能量传递给装药器头是静压力,不能有效地破坏较高承载力的复合软基;陆上振动式设备投资大,电力作为动力能源,施工作业不安全,且砂层在振动力的作用下强度可能增加而不发生破坏。为了更好地解决在深水 and 波涌条件下的复合软基的装药,保证施工质量、进度和作业安全,又能降低施工成本,结合本工程我们提出了处理送药装置(图2),获取了国家实用新型专利。

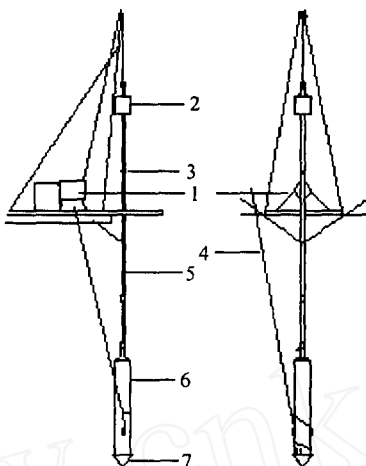


图2 冲孔送药装置

1. 卷扬设备 2. 落锤 3. 设备绳索 4. 脱销绳索 5. 导杆 6. 装药器 7. 装药器头

Fig.2 Device for transporting charge by clean hole

3.2 装药机理与技术特点

该装置的机理是依据沙层的冲击动载强度远小于土的静态极限强度的动力学理论。将动力能量由卷扬设备绳索转化为落锤的势能，落锤经导杆自由落下，其势能由承力盘经连杆传递给装药器头转化为冲击能；土层在锥头的冲击载荷的反复作用下被不断冲剪破坏，当装药器被击入一定的设计深度时，脱销绳索将装药器与其头部分离，在土的侧向阻力作用下，装药器头和其相连的预装药包被留于设计深度；在装药器提起的同时，组成传爆系统的塑料导爆索或导爆管随之引出，与前面装药引出线相连，直至将设计装药连接成一个设计起爆网络。

该送药装置技术特征有：动力能量传递采用非刚性的绳索牵引落锤，船载动力体与连杆和装药器分离的方式，保证了船体摇摆下的正常装药作业，能较好地适应深水和波涌条件的装药施工；利用土受冲击动载下的特性，使较高承载力的各类砂破坏或个别碎石被击碎，挤开，保证了装药深度；成孔与装药同步，避免了砂层塌孔影响，也减少了作业时间；非电作业环境，施工安全。该技术在工程施工中取得了良好效果和检验。

4 小结

(1) 本文介绍的是一个比较典型的砂-淤泥质复合软基的爆炸处理工程，利用送药装置新技术施工，经0+650m和0+800m的位置的堤身钻孔勘察检测，堤身落底满足设计要求（图1）；经过工后180余天的沉降监测，最大累计沉降量小于14cm，小于设计沉降量允许值。

(2) 复合软基爆炸处理的关键是埋药的深度和位置，同时，堤身在一定的布药长度下，应合理确定抛填宽度，以避免堤身超宽抛填造成堤身两侧达不到处理深度要求。

(3) 水下复合软基的成因，类型复杂，分布不均匀性，强度差异性特征，工程规程又未涉及，在施工中应根据实际工程条件，以试验段为设计基础进行安排组织施工。

参 考 文 献 (略)

Construction Techniques of Blasting Treatment of Underwater Sand - Ooze Soft Bed for Breakwater Foundation

Zhang Jianxun

(Institute of mechanics Chinese academy of sciences, Beijing 100080)

Abstract Based on engineering practice of blasting treatment design and construction for breakwater foundation of Guangao port of Shantou, it mainly introduces the design main points of blasting treatment of sand - ooze soft bed and the new accouter dynamite technology for engineering quality.

Key words blasting method, sand - ooze soft bed, new accouter dynamite technology