振冲碎石桩在高填土路堤软基处置中的应用

孙景旺 张留俊 王福胜
（中铁十三局一处） （中交第一公路勘察设计研究院）

摘 要 振冲碎石桩桩径较大，置换率较大，具有较大的承载力，目前在公路工程中使用较少。介绍用振冲碎石桩处理高速公路软土高路堤地基的经验，可供同类工程参考。

关键词 振冲碎石桩 高路堤 软土地基 设计 施工 检验 综合评价

福宁高速公路 K138 + 150 ~ + 710 段，位于残丘区的山间谷地与海岸线潮汐带交界处，属于滨海路堤。本段路堤半幅座落在山坡上，半幅位于浅海潮汐带。勘探资料显示，该处地基存在着 7 ~ 10 m 厚的软土层，软土含水量 40% ~ 60%，孔隙比 1.2 ~ 2.0，属于淤泥和淤泥质土。

本段路堤填土高度 14 ~ 16 m，是典型的高路堤，并且地基半幅硬半幅软，所以存在着横向的不均匀沉降问题。由于软弱层与持力层（碎石土）的界面具有向海中倾斜的坡度（约 10%）地基自身存在着下滑因素，这就给本路段的软基处理带来相当大的难度。根据设计计算的结果，结合现场实际情况，从解决软土地基的沉降和稳定两方面的综合考虑，采取了振冲碎石桩方案，并付诸实施。现就振冲碎石桩的设计、施工和检验工作简单介绍于下，供同类工程参考。

1 振冲碎石桩的设计

振冲碎石桩是利用振冲器借以高压水成孔，然后投以碎石使之密实，在土体中形成一个密实的桩体。碎石桩有两方面作用，其一是桩体与桩间土共同构成复合地基，以提高地基的承载力；其二是碎石桩的桩体为一良好的排水通道，在路堤荷载的预压作用下使桩间土排水固结，强度提高。

和其它软基加固的桩类(例如沉管砂桩、粉喷桩、CFG 桩等)相比，振冲碎石桩最大的特点是桩径较大(一般 0.8 ~ 1.2 m)，承载力大。此外，其成桩设备相对来说比较简单，便于运输。它的缺点是施工时用水量大，冲出来的大量泥浆，污染施工场地。

1.1 设计标准

软土地区高速公路容许工后沉降的基准期取 15 年（指沥青混凝土路面），其容许工后沉降值，对于一般路段取 30 cm，涵洞及通道取 20 cm，其它人工构造物与路堤联接处取 10 cm。

稳定验算采用固结有效应力法，强度指标取快剪和固结快剪值，最小安全系数不小于 1.2。

设计预压采用 180 天的预压期。

1.2 设计参数

根据稳定计算的结果，振冲碎石桩设计桩径取 1 m，桩距取 1.5 m，平面按正三角形布置（置换率达到 40 %）。桩长要求穿透软土层，并深入下卧持力层内 50 cm。为了加强路堤的稳定，处理范围包括坡脚外 5 m 以内。

设计单桩承载力 400 kPa，单桩复合地基承载力 200 kPa。

1.3 填料标准

交通部《公路软土地基路堤设计与施工技术规范》（JTJ017—96）规定碎石桩料粒径范围为 2 ~ 5 cm 碎石，水电部规范规定碎石粒径范围为 2 ~ 8 cm，考虑到交通部的规范主要考虑的是挤密碎石桩，桩径较小（50 cm），而振冲碎石桩桩径比较大（桩径 1 m），所以，本工程参照水电部规范，规定振冲碎石桩的填料标准为：具有一定级配的粒径为 2 ~ 8 cm 的碎石。

2 振冲碎石桩的施工

2.1 施工机械

振冲碎石桩的施工机械包括振冲器、机架、起吊设施、水泵、发电机等。振冲器技术参数见表 1。

2.2 振冲碎石桩的施工工艺

（1）将振冲器对准桩位，开水通电。

（2）启动卷扬机，使振冲器以 1 ~ 2 m/min 的

© 1995-2005 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

速度下沉，在下沉中不得超过振冲电流额定值，万一超过时，需减速下沉或暂停下沉一段时间，借以高压水冲松土层后继续下沉，在成孔过程中要记录电流值和时间。

表 1 振冲器技术参数表

型号	潜水钻机						
	功率	转速	额定电流	激振力	偏心力矩	振幅	外形尺寸
	/kW	/（$r \cdot min^{-1}$）	/A	/kN	/（N·m）	/mm	/mm
ZCQ－55	55	1 450	100	130	55.4	5.6	ϕ351×2 722

（3）当振冲器达到设计深度以下 30～50 cm 时，开始将振冲器上提至孔口，提升速度可以加快。

（4）清孔 2～3 次（重复（2）～（3）步骤）。

（5）往孔内填 0.5～0.6 cm^3碎石填料，将振冲器沉至填料上进行振密，这时振冲器不仅是使填料振密，并且使填料挤入孔壁的土体，从而使桩径扩大，由于填料不断挤入，孔壁的约束力逐渐增大，一旦约束力与振冲器产生的振力相等，桩径不再扩大，这时振冲器的电流值迅速提高，当电流达到规定值（密实电流）时，认为该段桩体已经振密。

（6）如果电流达不到密实电流，则需提出振冲器，继续向孔内投一批碎石填料，再下降振冲器进行振密，如此重复操作，直至该深度的电流达到密实电流为止。

每投一批填料进行振密，都要记录深度、填料量、时间和电流。

密实电流按 60 A～90 A 控制，填料压实系数取 1.3。

将振冲器提至孔口，准备做上一深度的桩体。

（7）重复上一步骤，自下而上地制做桩体，直至孔口，这样一根桩就制作成了。

（8）关振冲器，关水，移位，进行下一孔作业。

3 振冲碎石桩施工质量的检测

3.1 现场检测

现场检测包括对桩径、桩距、桩长、垂直度以及投料数量的检查，该项工作由监理及旁站人员完成。

现场检测的项目、数量及要求见表 2

表 2 现场检测的项目表

项次	项目	允许偏差	检测方法	抽检频率
1	桩距	±15cm	现场量测	2%
2	桩长	不小于设计	查施工记录	2%
3	桩径	不小于设计	现场量测	2%
4	垂直度	<1.5%	查施工记录	
5	投料数量	不小于设计	查施工记录	

特别需要指出：投料数量是控制振冲碎石桩施工质量好坏的关键因素，也是最容易出问题的地方。所以监理人员必须对此严格把关。

3.2 重 Ⅱ 型动力触探检测

重 Ⅱ 型动力触探的检测有两个目的，一是检测成桩的密实度，看是否达到要求的标准；二是检测桩长是否达到设计要求。

根据经验，重 Ⅱ 型动力触探锤击数与深度有关，深度愈深锤击数愈大；锤击数还与成桩后时间有关，因为在成桩过程中桩间土受到扰动而强度降低，成桩后马上检测锤击数就低，所以，为使土体强度有一定的恢复，规定成桩 30 天后进行重 Ⅱ 型动力触探检测；同时锤击数与桩间土的地质成分有关，桩间土为淤泥这类软弱土，锤击数就低；桩间土为砂土，锤击数就高。所以在制定检测标准时应考虑这些因素。

根据对比试验结果并参考有关规范，该工程振冲碎石桩密实度标准如表 3。

表 3 振冲碎石桩密实度标准

序号	深度/m	重Ⅱ型动力触探锤击数（每贯入 10cm 锤击数）	备注
1	0～5	6	成桩时间不足 30 天的桩，检验标准可以乘以 0.8 的系数
2	5m 以下	11	

3.3 关于载荷试验：

载荷试验是通过现场压载的方法来测定地基承载力，它是一种常用的现场检测手段。根据规范，碎石桩的施工质量，通过现场检查和重 Ⅱ 型动力触探检测，完成了桩径、桩距、桩长、垂直度、投料数量和密实度的检测，基本上可以达到检测施工质量的目的。但是碎石桩的施工是否达到了设计的意图，则要通过载荷试验来确定。一般而言，承载力的大小与设计的桩长、桩径、桩距以及填充物有关；与地质条件有关；同时也与施工质量有关。所以说，载荷试验的结果是一个综合性的检测指标。对一些重要工程或大型工程的重要部位，需要进行

© 1995-2005 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

预应力锚索在顺层公路路堑边坡加固中的应用

谭祖保　娄良彪
（中铁十一局二处）

摘　要　介绍公路石质顺层深路堑边坡加固施工技术，应用预应力锚索加固与传统的抗滑结构相比，具有受力可靠、造价低廉、施工简便、减少土石方数量、工期短等特点。

关键词　预应力锚索　顺层路堑　边坡加固

1　工程概况

京福高速公路济南至泰安（K35 + 800 ~ K36 + 500）段石质深挖路堑边坡垂直高度 37 m，设计边坡为 1∶0.5，花岗岩、节理裂隙发育、顺层岩视倾角为 40° ~ 60°，该边坡原设计为预应力锚杆加固，因在施工过程中多处发生大面积塌滑，原设计不能满足该段边坡防护技术要求，同时业主要求通车工期提前，我们根据实际情况，向业主和设计单位提出变更为预应力锚索加固，得到了批准。

2　作用机理

预应力锚索加固石质顺层路堑边坡的作用机理是通过在路堑边坡上的预先施加应力 Q_m使之在可能的滑面上产生一个正压力 $Q_m\sin\alpha$ 和切向拉力 $Q_m\cos\alpha$ 组成抗滑力 $P = Q_m\sin\alpha \tan\varphi + Q_m\cos\alpha$ 来平衡下滑力 T_m，根据平衡理论可求出路堑边坡超出一定高度时可能产生顺层滑动，其中 α 为锚索与顺层面之夹角。

$$H_\lambda = 2c\sin\lambda / [\gamma\sin(\lambda-\beta) \times (\sin\beta - \cos\beta\tan\varphi)]$$

载荷试验以验证设计，检查处理效果。

根据检测结果，5 根单桩极限荷载均达到每根 620 kN 以上，单桩承载力达到 400 kPa。5 根复合地基单桩承载力也超过了 200 kPa。完全达到了设计要求

4　振冲碎石桩工程的施工质量评定方法和标准

为了便于管理，建议采用综合分制评价福宁高速公路振冲碎石桩的施工质量。综合分制就是对施工记录及现场量测检查、密实度检测（动探 Ⅱ 型试验）和载荷试验检测结果分别记分，根据综合分来定量地评价振冲碎石桩的施工质量。

评定方法：采取百分制。其中累计 85 分以上为优秀；累计 84 ~ 75 分为良好；累计 74 ~ 60 分为合格；累计 60 分以下为不合格。评定标准如下。

4.1　施工记录及现场量测：满分 30 分

已施工的振冲碎石桩必须施工记录详细，整齐、清晰。施工参数（填料数量、密实电流、桩距、桩长等）符合设计要求。达到者记 30 分，否则不记分。

4.2　密实度检验（动探 Ⅱ 型试验）：满分 50 分（详见表 4）

表 4　动探 Ⅱ 型试验记分标准

标准内容	等级分
动探 Ⅱ 型试验击数 100% 以上达标	50 分
动探 Ⅱ 型试验击数 85% 以上达标	45 分
动探 Ⅱ 型试验击数 70% 以上达标	35 分
动探 Ⅱ 型试验击数达标率不足 70%	25 分

4.3　载荷试验：满分 20 分（详见表 5）

表 5　载荷试验记分标准

标准内容	等级分
100% 达到设计要求	20 分
85% 以上达到设计要求	15 分
70% 以上达到设计要求	10 分
检测达标不足 70%	5 分

收稿日期：2001—03—30

© 1995-2005 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.