

# 桩锚压重反力装置在高边坡狭窄平台处 6000kN 嵌岩桩静载试验研究分析

殷世平

云南省楚雄州永仁县水务局 云南永仁 651499

**摘要:** 桩基静载试验作为判定竖向抗压承载力是否满足设计要求的检测方法之一, 其具有直观、可靠的特点。对于大面积碾压回填土分布的桩基检测, 或者平面分布的天然桩基, 在条件允许情况下, 采用静力堆载加压, 且堆载加压已经作为成熟的检测手段之一, 但是对于高边坡、错台开挖、采用常规的堆载加压方式显然不行, 因此需要借助于其他的手段加载成为试验的关键点, 本文就高边坡错台开挖采用桩锚压重反力装置试验原理, 进行试验, 取得一定的成果, 希望能够为其他类似项目开展静载试验提供一定参考经验。

**关键词:** 高平台; 狭窄; 嵌岩桩; 静载

## 1. 工程基本情况

西南地区某引水工程施工 9 标位于某省某自治州某市碧城镇内, 标段起点位于倒虹吸进口, 终点位于观音山倒虹吸出口, 全长 9.777km。标段内主要包括观音山倒虹吸进口工作闸及退水闸, 压力管道加工制作及安装, 观音山倒虹吸出口工作闸、分水闸及节制闸。观音山倒虹吸进口段由渐变段、退水闸、工作闸及进水池组成, 总长 75m; 输水管采用 3 根内径 4.2m 压力钢管, 压力管道总长度 9.558km, 设计流量 100m<sup>3</sup>/s; 出口段由出水池、渐变段、工作闸、分水闸、节制闸、溢流堰、出口连接段组成, 总长 224.573m。主要施工内容有观音山退水渠(总长度 1878m, 钢筋混凝土结构, 净宽 4.1m, 净高 5.0m)、进水池、检修闸、分水闸、工作闸、跨东河管桥、东河导流及治理、出水池、武易高速路改桥、王官厂弃渣场、机电及金属结构安装等工程。

混凝土灌注桩位于施工 9 标观音山倒虹吸管道 1 段 GYSS0+481.015 至 GYSS0+531.015 段桥梁段。现场桩基基础 1# 桥梁为第四系残、破积层(碎砾石黏土)较厚; 2# 桥梁为强风化白云岩较厚; 3# 桥梁为第四系残、破积层和强风化白云岩较厚; 4# 桥梁为岩石断裂带; 5# 桥梁为第四系残、破积层(碎砾石黏土)较厚; 6# 桥梁位于冲沟外缘, 表层为松散四系残、破层。混凝土灌注桩分为 6 排每排 5 根排列, 数量共计 30 根, 每根桩基的直径 1.8m, 上部与 1.6m 直径

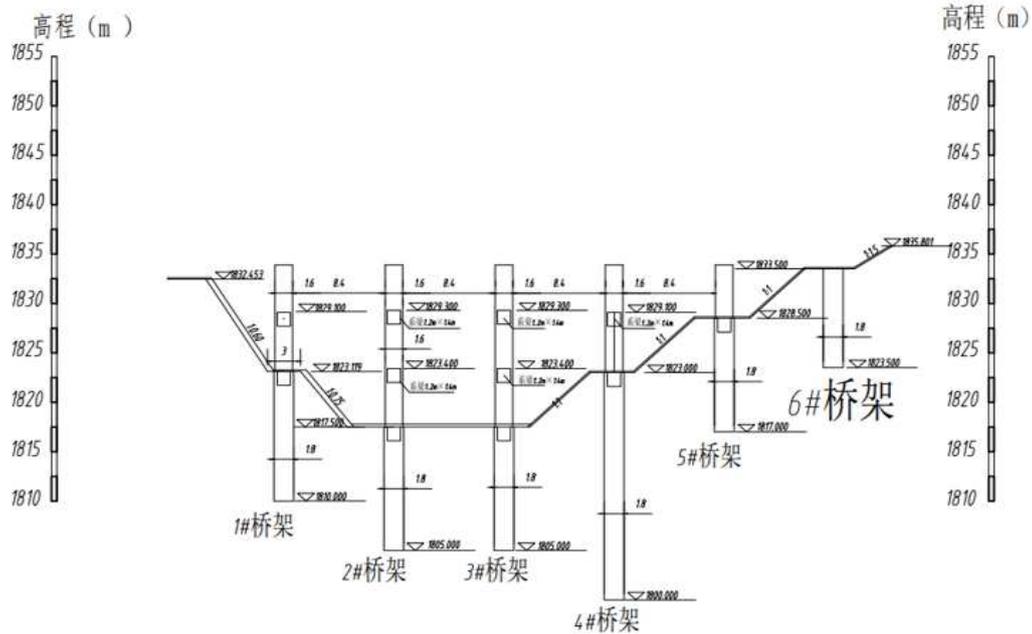
墩柱相连接。

## 2. 桩基布置原则

现场桩基布置按照 10 米间距进行矩形布置, 其中, 桩的类型为圆形, 桩径为 1.8m, 每排 5 根, 依次按照 Z1-1 ~ Z1-5, 至 Z6-1 ~ Z6-5, 共计 30 根桩。其桩入土长为 10m 至 27.5m 范围; 平台(高程 1823.453)至第一排桩(高程 1823.119)、第一排桩至第二排桩(高程 1817.500)、第二排桩至第三排桩(高程 1817.500)、第三排桩至第四排桩(高程 1823.000)、第四排桩至第五排桩(高程 1828.500)、第五排桩至第六排桩(1833.500)、第六排桩至平台(1835.801), 其坡比分别为 1: 0.60, 1: 0.75, 0, 1: 1, 1: 1, 1: 1, 1: 1.5。基本分布如下所示。其中设计要求单桩竖向抗压承载力特征值为 2600kN, 试验加载不得小于 2 倍, 即试验加载量为 5200 kN。

## 3. 桩基设计要求

根据本项目地质条件, 地表坡积物较厚, 直接采用天然地基, 土体性能需要满足承载力以及变形要求, 全部开挖换填不利于施工且本身已经处于冲沟区, 更不利于施工, 而桩基础可以利用自身的优点进行施工, 作为承载体进行分担荷载。同时, 在建设实施之前, 设计单位根据建筑物和构筑物荷载进行估算, 建筑物主要承受荷载包括: 钢管自重、混凝土自重、钢管中水重三部分, 各部分参数取值按照规范进



现场桩基施工设计平面图

行选取经验值。经过设计负荷计算，其荷载值为 2598kN，取 2600kN 作为桩基承载力特征值。验算过程如下：

根据桩体间距离设计要求，取段长 10m 计算，直径为 1.8m，计算各种重度按照 5 根。

1. 钢管自重，钢管密度取 7.850t/m<sup>3</sup>，共计 7.87 m<sup>3</sup>，GK1=617.8 kN；

2. 混凝土自重，混凝土密度取 2.500t/m<sup>3</sup>，共计 327 m<sup>3</sup>，GK2=8175.0 kN；

3. 钢管中水重，水密度取 1.000t/m<sup>3</sup>，共计 327 m<sup>3</sup>，GK3=4156.0 kN；

4. 荷载总重量为 GK=617.8 + 8175.0 + 4156.0 = 12949 kN；

5. 荷载由 5 根桩分摊，取平均值为 2590 kN，取 2600kN 作为桩基承载力特征值。

#### 4. 工程试验方法的选择

对于 5200kN 荷载，如果采用传统的静载堆放，需要的尺寸面积至少为 10m\*10m 断面，堆土高度为 4.5m 高度（按照现场土的重度 15kN/m<sup>3</sup>），如为堆积荷载铁块，仍需堆载 1m 高度，且运距较长，费用较高，结合现场边坡比较大，桩距离边坡距离较近，只有 1.8m，容易发生失稳，并且现场试验条件不具备开采出大断面场地，如此一来，只有选择

其余的方式对其加载，在选择其他加载方式时，本项目受制约因素有以下几点：

1. 边坡坡比较大，底部至最高平台处达 20m 高差，并且桩所在的平台宽度仅有 5.4m，桩体本身直径为 1.8m。边坡三面悬空，没有扩展场地的可能。

2. 受限现场施工条件限制，第二排桩和第三排桩体分别为施工便道，无法长时间中断，且施工单位已经在桩上覆盖 4-5m 土体，且两侧雨季行洪区，不具备开展试验条件。

3. 桩基在加载过程中，需要轴心受力，不能偏心受力。即千斤顶的合力中心与受检桩的横截面形心重合。

4. 千斤顶上部载荷或者提供反力装置应当在受力均衡，钢梁材料刚度满足要求，重量分布均匀。

5. 按照规范 JGJ106-2014《建筑桩基检测技术规范》中对于锚固桩体作为受力桩，应当不少于 4 根，而本次试验计划采用相邻侧两颗桩作为受力桩，需要反复验算。

受制于以上条件，结合规范 JGJ106-2014《建筑桩基检测技术规范》中对于桩锚压重力原理的试验理念，进行抗压静载试验，即利用相邻侧桩基作为受力点受力，进行静载试验。

#### 5. 试验验算

现场桩径为 1.8m，其中在桩体内环形布置直径

25mmHRB400E的钢筋均匀布置,总计36根,间距10cm。桩的间距为4.2m等间距布置。在按照此种方法布置时,需要验算4方面内容:

1. 使用的箍筋是否会满足抗压强度要求;
2. 受力桩会不会因为自身抗拉强度不足,导致桩自身发生断裂;
3. 钢筋与混凝土会不会因为粘结力不足,而发生破坏;
4. 整个桩的摩阻力及自重是否会发生整体拔出现象。

当以上验算均合格情况,代表试验可以按照计划要求进行。此时安全系数按照不低于1.25进行。

#### 5.1 箍筋验算

现场采用2根相邻的桩基作为支撑反力装置。钢筋选用20根钢筋作为箍筋,进行搭接,钢筋强度按照400级钢筋验算,同时考虑钢筋箍筋处弯曲,折算系数按照0.85倍进行计算。

箍筋最大承受力值:  $3.14 \times 12.5^2 \times 400 \times 20 \times 2 \times 0.85 = 6672.5\text{kN}$ ;

安全系数:  $6672.5/5200 = 1.28$

#### 5.2 混凝土桩身强度验算

现场采用2根相邻的桩基作为支撑反力装置。桩的混凝土强度为C30混凝土,其抗拉强度为抗压强度的1/10至1/20,混凝土强度按照30Mpa取值,本次抗拉强度验算取1/20进行计算。

混凝土桩桩身最大承受力值:  
 $3.14 \times 900^2 \times 30 \times 2 \times 0.05 = 7630.2\text{kN}$ ;

安全系数:  $7630.2/5200 = 1.47$

#### 5.3 混凝土桩身钢筋粘结力强度验算

现场采用2根相邻的桩基作为支撑反力装置。钢筋长度在桩身长度为10m,桩内钢筋使用为20根,钢筋与C30混凝土之间的粘结强度按照1.0Mpa取值。

桩身钢筋粘结力最大承受力值:  
 $3.14 \times 25 \times 10000 \times 20 \times 2 \times 1.0 = 31400\text{kN}$ ;

安全系数:  $31400/5200 = 6.0$

#### 5.4 混凝土桩身整体破坏强度验算

现场采用2根相邻的桩基作为支撑反力装置。主要载重包括载荷板重量、混凝土自身重量、混凝土桩与侧边阻力、桩端混凝土与围岩粘结强度四部分组成,其中桩身混凝土重量按照25kN/m<sup>3</sup>,桩长按照10m,混凝土桩与土的侧摩擦阻

力为270kPa,载荷板重量为400kN,本次忽略桩间与岩石粘结强度。

桩身整体最大承受力值:

混凝土自重:  $3.14 \times 0.9^2 \times 10 \times 2 \times 25 = 1271.7\text{kN}$

桩端侧阻力  $3.14 \times 1800 \times 10000 \times 0.27 \times 2 = 30520.8\text{kN}$ ;

安全系数:  $(1271.7 + 400 + 30520.8) / 5200 = 6.19$

#### 5.5 混凝土桩身抗压整体破坏强度验算

现场检测桩的混凝土强度为C30混凝土,试验过程中,桩所受的最大力应该保证不被压坏。

桩身整体最大承受力值:  $3.14 \times 900^2 \times 30 = 76302\text{kN}$ ;

安全系数:  $76302/5200 = 14.7$

### 6. 试验过程

本次试验选用直径0.8m具有足够刚度和强度的承压板,最大加载量至5200kN,千斤顶为4个3200kN并联出力,作为加压装置,加载方式采用慢速维持荷载法,共分10级加载,第一级加载值约为分级荷载的2倍,以后采用逐级等量加载,直至满足规范规定的终止试验条件或达到设计要求条件为止。

#### 6.1 加载过程:

正式试验前宜进行预压。预压荷载宜为最大加载量的5%,预压时间宜为5min。预压后卸载至零,测读位移测量仪表的初始读数并应重新调整零位。

每级荷载施加后应按第5min、15min、30min、45min、60min测读承压板的沉降量,以后每隔30min测读一次。

沉降相对稳定标准:每一小时的桩顶沉降量不得超过0.1mm,并连续出现两次。

当桩顶沉降速率达到相对稳定标准时,再施加下一级荷载。

#### 6.2 终止加载

当出现下列情况之一时,即可终止加载:

承压板周围的土明显地侧向挤出,周边土体出现明显隆起。

某级荷载的桩顶沉降量大于前一级荷载沉降量的5倍,且桩顶总沉降量超过40mm,荷载与沉降曲线出现明显陡降。

在某级荷载下,桩顶沉降量大于前一级荷载沉降量的2倍,且经24小时内沉降速率不能达到相对稳定标准。

试验累计总沉降量已大于承压板宽度或直径的6%。

加载至要求最大试验荷载且承压板沉降达到相对稳定

标准。

#### 卸载与卸载沉降观测

卸载分5级卸载，每级卸载为加载时的两倍。

卸载时，每级荷载维持1h，按第15min、30min、60min测读承压板沉降量。

卸载至零后，应测读桩顶板残余沉降量，维持3h，测读时间应为第15min、30min，以后每隔30min测读一次桩顶板残余沉降量。

#### 6.3 地基承载力特征值的确定

根据实测原始记录绘制荷载-沉降(Q-s)和沉降-时间对数(s-lgt)曲线；

根据沉降随荷载变化的特征确定：对于陡降型Q-s曲线，应取其发生明显陡降的起始点对应的荷载值。

根据沉降随时间变化的特征确定：应取s-lgt曲线尾部出现明显向下弯曲的前一级荷载值。

符合终止加载条件情况时，宜取前一级荷载值。

对于缓变型Q-s曲线，宜根据桩顶总沉降量，取s等于40mm对应的荷载值；对本次试验桩端直径等于800mm的桩，可取s等于0.05D对应的荷载值；当桩长大于40m时，宜考虑桩身弹性压缩。

不满足本条第1~5款情况时，桩的竖向抗压极限承载力宜取最大加载值。

#### 7. 试验结果分析

对现场嵌岩桩混凝土进行绘制荷载-沉降(Q-s)、沉降-时间对数(s-lgt)和绘制沉降-荷载对数(s-lgQ)曲线分析，得出结论：所有的桩基抗压强度均没有出现陡增阶段，同时所有桩基沉降量均在10mm以内，由此可见，桩体的抗压静载抗压强度满足设计要求，其静载受压满足设计要求，同时回弹量均小于15%，周边受拉桩体没有出现肉眼可见上拉位移变化，边坡山体没有出现位移，受压桩外部未发现裂缝，明显沉降，钢筋加固部位没有出现严重断裂。

#### 8. 工程辅助检测

在开展静载试验前，根据施工计划方案，分别对桩身完整性采取低应变法进行检测，用以确定桩身是否发生较大

变化，是否与验算结果相一致，以及试验后桩身强度是否会发生变化。通过对3根受检桩的试验成果分析，得出结论，静载试验并未影响桩体自身完整性。

#### 9. 工程经验总结及借鉴

本次试验采用被检测桩两侧桩体作为反力装置，试验结果满足设计要求，试验的成功开展验证了类似这种施工工艺布桩采用该检测方式可行。本次试验为以后类似项目开展静载检测提供一定的工程经验。但是仍有一部分不足，如边坡土体监测采用人员巡逻和目测进行观测（主要是桩基为嵌岩桩，承受力值仅为端头，而非复合地基受力）、相邻桩的变形只是采用很原始的人为监测，没有使用精密仪表检测（主要原因是安全系数达到6倍有余，认为桩体不会拔出），现场整体没有布置全方位安全监测网，未整个区域进行动态监测。但是在类似项目实践过程中仍需要根据工程情况进行调整：如相关参数的选取、危险面的稳定性验算、现场桩体的实际分布形式、边坡土体的变形监测，受力桩的上拔量监测以及监测区域整个土体的监测。后期在开展相关工作时可以在此基础上再次完善，不断改进，积累经验。

#### 参考文献：

- [1] 薛磊，何珺怡，骆锦成等. 水上旋挖机成孔钢管嵌岩斜桩施工技术[J]. 中国港湾建设，2022,42(7):54-57,75.
- [2] 雒焕斌，赵江倩. 浅覆盖层水域高桩码头灌注型嵌岩桩施工技术研究[J]. 江西水利科技，2019,45(6):415-419.

#### 作者简介：

殷世平 1978年9月生，1998年7月毕业于云南省水利水电学校，2011年7月本科毕业于河海大学水利水电工程专业，现在云南省楚雄州永仁县水务局工作，水利高级工程师职称，从事水利工作26年，专业技术任职25年，作为主要人员专业负责大型灌区前期规划工作，担任项目法人、技术负责人等职务负责新建中型水库（95米高坝的堆石面板坝直直水库）、新建小（一）型水库及小（一）型病险水库除险加固工程共10余件，有较高的理论水平及丰富的工程建设管理实践经验。